



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

“RESPUESTA PRODUCTIVA Y PERFIL LIPÍDICO DE LA LECHE DE
CABRAS ALIMENTADAS EN CONFINAMIENTO ADICIONANDO
ACEITE DE SOYA EN LA DIETA”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

P R E S E N T A:

MVZ. LUIS ALBERTO MEJÍA URIBE

Toluca, México; Mayo de 2016



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**“RESPUESTA PRODUCTIVA Y PERFIL LIPÍDICO DE LA LECHE DE
CABRAS ALIMENTADAS EN CONFINAMIENTO ADICIONANDO
ACEITE DE SOYA EN LA DIETA”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

P R E S E N T A:

MVZ LUIS ALBERTO MEJÍA URIBE

TUTOR:

DR. ERNESTO MORALES ALMARÁZ

TUTORES ADJUNTOS:

DR. IGNACIO ARTURO DOMÍNGUEZ VARA

DR. MANUEL GONZÁLEZ RONQUILLO

Toluca, México; Mayo de 2016

DEDICATORIAS

A mis padres que son un ejemplo de vida que me ha motivado a seguir adelante.

A la mujer que decidió compartir su vida conmigo y regalarme tres angelitos TE AMO LUCERO.

A mis tres hijos: Sofi, Abi y Rafa.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** por la beca otorgada para realizar mis estudios de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.

A la **Universidad Autónoma del Estado de México** por el financiamiento otorgado al proyecto de investigación “**Evaluación de la producción y composición de leche de cabras y calidad de la carne de ovinos en sistemas de alimentación intensiva complementados con aceite de soya, clorhidrato de zilpaterol y levadura de cromo**” (3777/2014/CIC).

Al **Dr. Ernesto Morales Almaráz** por su asesoría para el desarrollo del proyecto experimental, elaboración de artículo y tesis. Por su sincera amistad y apoyo.

A mis tutores adjuntos, el **Dr. Ignacio Arturo Domínguez Vara** y el **Dr. Manuel González Ronquillo**, por la asesoría en la elaboración de mi tesis.

Al **M en C. Rodolfo Vieyra Alberto** por su apoyo durante mis estudios de Maestría.

CONTENIDO

RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	1
2.1. Situación de la producción de leche de cabra en el mundo	1
2.2. Composición química de la leche de cabra	2
2.2.1. Proteína en la leche	3
2.2.2. Lactosa en la leche.....	4
2.2.3. Grasa en la leche.....	5
2.3. Ácido linoleico conjugado: estructura, configuración y síntesis	6
2.3.1. Efectos del ácido linoleico conjugado en la salud humana	7
2.3.2. Factores que influyen en la concentración de CLA en la leche de cabra	8
2.3.2.1. Estrategia de alimentación	9
2.4. Metabolismo de lípidos en el rumen.....	10
2.4.1. Lipólisis	11
2.4.1.1. Factores que afectan la lipólisis.....	13
2.4.1.1.1. El pH.....	13
2.4.1.1.2. La dieta.....	13
2.4.2. Biohidrogenación (BH)	14
2.4.2.1. Microorganismos involucrados en la biohidrogenación	16
2.4.2.2. Factores que afectan a la biohidrogenación.....	18
2.4.2.2.1. El pH.....	18
2.4.2.2.2. La dieta.....	19
2.4.3. Absorción de los lípidos	19
2.5. Metabolismo de lípidos en la glándula mamaria.....	20
2.5.1. Desaturación de los ácidos grasos	21
2.6. Utilización de fuentes de lípidos en la dieta animal.....	22
III. JUSTIFICACIÓN.....	24
IV. HIPÓTESIS.....	25

V. OBJETIVOS.....	26
GENERAL.....	26
ESPECÍFICOS.....	26
VI. MATERIALES Y MÉTODO	27
6.1. Área de estudio.....	27
6.2. Animales y tratamientos.....	27
6.3. Desarrollo Experimental.	27
6.4. Análisis de laboratorio.....	29
6.5. Análisis estadístico	30
VII. RESULTADOS.....	31
VIII. DISCUSIÓN GENERAL	62
IX. CONCLUSIONES GENERALES.....	65
X. LITERATURA CITADA	66
XI. ANEXOS.....	76

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
1	Composición química (%) de la leche de diferentes especies de mamíferos.....	5
2	Principales caseínas encontradas en la leche de cabra.....	6
3	Ingredientes de las dietas experimentales (g/100g MS).....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	Producción nacional (%) de leche de cabra durante el año 2013.....	4
2	Ruta de biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados (AGI): linoleico, linolénico y oleico.....	9
3	Esquema de la digestión de la grasa en rumiantes.....	13
4	Metabolismo de los lípidos (lipólisis y biohidrogenación) contenidos en la dieta.....	14
5	Rol de <i>Butyrivibrio spp</i> , <i>Propionibacterium acnés</i> y <i>Butyrivibrio proteoclasticum</i> sobre la biohidrogenación del ácido linoleico.....	17
6	Efecto de la semana experimental sobre el peso vivo de cabras Saanen con aceite de soya en sistema intensivo.....	58
7	Efecto de la semana experimental sobre el consumo de materia seca (CMS) de cabras Saanen con aceite de soya en sistema intensivo.....	58
8	Efecto de la semana experimental sobre el rendimiento (A) y contenido de grasa (B) en la leche de cabras Saanen en sistema intensivo.....	59
9	Efecto de la semana experimental sobre el contenido de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) en leche de cabras Saanen en sistema intensivo.....	60
10	Efecto de la semana experimental sobre el contenido de ácidos grasos de cadena larga (AGCL) en leche de cabras Saanen en sistema intensivo.....	60
11	Efecto de la interacción del tratamiento con la semana experimental sobre el contenido ácidos grasos saturados (AGS) en leche de cabras Saanen en sistema intensivo.....	61
12	Efecto de la interacción del tratamiento con la semana experimental sobre el contenido ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) en leche de cabras Saanen en sistema intensivo.....	62
13	Efecto de la interacción del tratamiento con la semana experimental sobre el contenido ácidos grasos de cadena media (AGCM) en leche de cabras Saanen en sistema intensivo.....	62

RESUMEN

La leche de cabra y sus productos (queso, yogurt) son una importante fuente de nutrientes tales como lípidos, proteínas, vitaminas y minerales, que pueden ser considerados como parte de la dieta de los humanos, sobre todo para personas intolerantes a ciertos componentes (lactosa) de la leche de vaca. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la adición de aceite de soya (6% BS) sobre la producción, composición y perfil de ácidos grasos (AG) de la leche de cabras Saanen en un sistema de alimentación intensivo; se utilizaron 10 cabras Saanen multíparas (48 ± 6.5 kg PV, 2.3 ± 0.6 kg leche/d, 19 ± 5 días en lactación), alimentadas durante doce semanas, con una ración total mezclada con (SOYA6) y sin (CTRL) aceite de soya. El consumo de MS fue 12.5% mayor ($P < 0.05$) en SOYA6. No hubo efecto ($P > 0.05$) sobre el cambio de peso vivo (50.98 ± 6.26 kg), producción láctea (2.19 ± 0.399 kg/d), contenido de grasa ($3.83 \pm 0.65\%$), proteína ($2.99 \pm 0.12\%$) y lactosa ($4.46 \pm 0.18\%$) en leche. El contenido de ácido vaccénico en leche fue mayor en las semanas 2, 6 y 9; en contraste, el ácido ruménico aumentó en las semanas 2, 5 y 8 en SOYA6 ($P < 0.05$). El aceite de soya disminuyó ($P < 0.05$) 13.66% el contenido de AG saturados y aumentó ($P < 0.05$) 35.69% la concentración de AG insaturados. La inclusión de 6% de aceite de soya en la dieta de cabras resultó en un menor índice aterogénico de la leche (2.57 vs 1.38), con alto contenido de los ácidos grasos esteárico, oleico, vaccénico y linolénico, sin mostrar efectos negativos en el desempeño productivo.

Palabras clave: aceite de soya, leche, ácidos vaccénico y ruménico, cabras Saanen.

ABSTRACT

Goat's milk and products are an important source of nutrients: lipids, proteins, vitamins and minerals, which can be considered as part of the human diet, especially people who are intolerant to components (lactose) from cow's milk. The objective was to evaluate the effect of the addition of soybean oil (6%, DM) on animal performance, milk composition and fatty acid (FA) profile from Saanen goat in an intensive feeding system. Ten multiparous goats (48 ± 6.5 kg LW, 2.3 ± 0.6 kg milk/d, 19 ± 5 DIM) were fed for 12 weeks with a total mixed diet with (SOYA6) and without (CTRL) soybean oil. Dry matter intake (DMI) was 12.5% higher ($P < 0.05$) in the goats fed SOYA6. No effects ($P > 0.05$) on LW (50.98 ± 6.26 kg), milk production (2.19 ± 0.399 kg/d), or the fat ($3.83 \pm 0.65\%$), protein ($2.99 \pm 0.12\%$), and lactose ($4.46 \pm 0.18\%$) contents in milk were noted. Vaccenic acid (VAC) content in milk was higher at weeks 2, 6, and 9, whereas the rumenic acid content increased at weeks 2, 5, and 8 in goats fed SOYA6 ($P < 0.05$). Adding soybean oil decreased ($P < 0.05$) the saturated FA contents by 13.66% and increased ($P < 0.05$) the unsaturated FA by 35.69%. The inclusion of 6% soybean oil in the goats' diet decreased the atherogenic index of the milk (2.57 vs 1.38) and resulted in high levels of stearic, oleic, linolenic and VAC acids in milk fat. No adverse effects on performance or productivity were observed.

Keywords: Soybean oil, milk, vaccenic acid, rumenic acid, Saanen goats.

I. INTRODUCCIÓN

La población humana demanda alimentos funcionales, que además de aportar nutrientes, mejoren su salud (Gagliostro *et al.*, 2006). La leche de cabra y sus productos (queso, yogurt) son una importante fuente de nutrientes: lípidos, proteína de alta calidad, vitaminas y minerales (Park *et al.*, 2007), que pueden ser considerados como parte de la dieta de los humanos, sobre todo para personas que son intolerantes a componentes (lactosa) de la leche de vaca (Haenlein, 2004).

La inclusión de aceites o fuentes de grasa ricas en ácidos grasos poliinsaturados en la dieta de hembras rumiantes lecheras, ha demostrado ser una estrategia efectiva para modificar el perfil lipídico de la grasa láctea (Chilliard *et al.*, 2007); esta inclusión ha ganado enorme atención debido a sus efectos positivos (Parodi, 1999), tales como la reducción del contenido de ácidos grasos saturados (laúrico, mirístico, palmítico) en la grasa de la leche, los cuales se han relacionados con enfermedades cardiovasculares de humanos (Park, 2009).

En este sentido, la adición de aceite de soya en la dieta animal puede ser una estrategia importante en la producción y calidad nutricional de la leche bajo una alimentación intensiva, enriqueciendo la leche y sus productos con ácidos grasos monoinsaturados, polinsaturados, ácido linoleico conjugado (CLA) y ácido vaccénico (VAC) (Bouattour *et al.*, 2008), los cuales son considerados benéficos para la salud humana, fundamentalmente en la prevención de arterioesclerosis, cáncer y problemas de hipertensión (Jandal, 1996).

El CLA, específicamente el isómero C18:2 *cis*9 *trans*11, también llamado ácido ruménico (AR), que llega a representar hasta 90% del total de CLA (Lourenco *et al.*, 2010), se le han atribuido propiedades anticarcinogénicas en modelos animales (Ip *et al.*, 1994; Kazunori y Teruyoshi, 2013). Factores relacionados con la variación del contenido de CLA y VAC en leche han sido estudiados mayoritariamente en vacas lecheras (Chilliard *et al.*, 2001a), y los factores dietéticos son los que tienen principal influencia, especialmente el tipo de forraje y la fuente de grasa (aceites, grasas protegidas, semillas de oleaginosas) (Sanz-Sampelayo *et*

al., 2007). Matsushita *et al.* (2007) compararon el efecto de tres fuentes de aceite (soya, canola y girasol) y observaron un incremento en el contenido de CLA y una reducción en los ácidos grasos saturados en la leche por efecto de la adición. Mele *et al.* (2008) reportan un incremento en la producción de leche, contenido de grasa total y de ácidos grasos insaturados incluyendo al CLA, concluyendo que este incremento depende de la fuente de aceite en la dieta y la etapa de lactación, esa respuesta no ocurrió a la mitad y final de la lactancia. Otros autores (Almeida *et al.*, 2013) observaron disminución del contenido de AR en leche de cabras al aumentar el nivel de aceite de soya en la dieta. Bouattour *et al.* (2008) adicionaron 6% (base húmeda) de aceite de soya en el concentrado complementario al heno de pasto y alfalfa pelletizada, observaron un incremento de 200% en el contenido de AR y VAC en leche de cabras Murciano-Granadina. Pocos trabajos (Kouakou *et al.*, 2009) han evaluado la inclusión de más de 5% (base seca) de aceite de soya en la dieta de cabras pero sin reportar el contenidos de AR y VAC en leche.

Por lo cual el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la adición de aceite de soya sobre la producción, composición y perfil de AG de la leche de cabras Saanen en un sistema alimenticio intensivo durante un periodo de 12 semanas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Situación de la producción de leche de cabra en el mundo

La especie caprina contribuye en forma importante a la producción de alimentos, uno de ellos es la leche, su cría es llevada en combinación con la agricultura, por pequeños productores que cuentan con limitadas extensiones de terreno. Esta especie se encuentra ampliamente distribuida en todo el mundo. Los países que destacan en la producción de leche caprina son Sudan, Bangladesh, India, Irán, Turquía, China y Nigeria en los continentes africano y asiático, en Europa lo son Francia, Italia, España y Grecia, y respecto al continente Americano, los países más sobresalientes son Brasil y México (FAOSTAT, 2014).

En México, según reportes del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2013), existen aproximadamente 8,743,949 millones de cabras; los sistemas donde se explotan son variados, en general, dominan los extensivos (70% de la población), teniendo como base la vegetación nativa del agostadero como alimentación, son pocos los sistemas tecnificados, que tan solo representan el 25 % de la población nacional (Arechiga, *et al.*, 2008), estos sistemas tecnificados se encuentran principalmente en la zona de la Laguna y el Bajío (Arbiza y De Lucas, 2001). Los principales estados productores de leche son Coahuila, Durango y Guanajuato (Figura 1); en los cuales, la mayoría de las explotaciones, tienen como objetivo principal la producción de leche para la fabricación de quesos y dulces, dichos estados representan el 73% del total de la producción nacional; los estados como Jalisco, Chihuahua y Zacatecas aportan 12% de la producción nacional. Según datos obtenidos del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, la producción de leche caprina disminuyó un 5.85 % durante el periodo comprendido de 2010 a 2013, con una producción de 161,796 mil litros en 2010, mientras que para 2013 se reportó una producción de 152,332 mil litros.

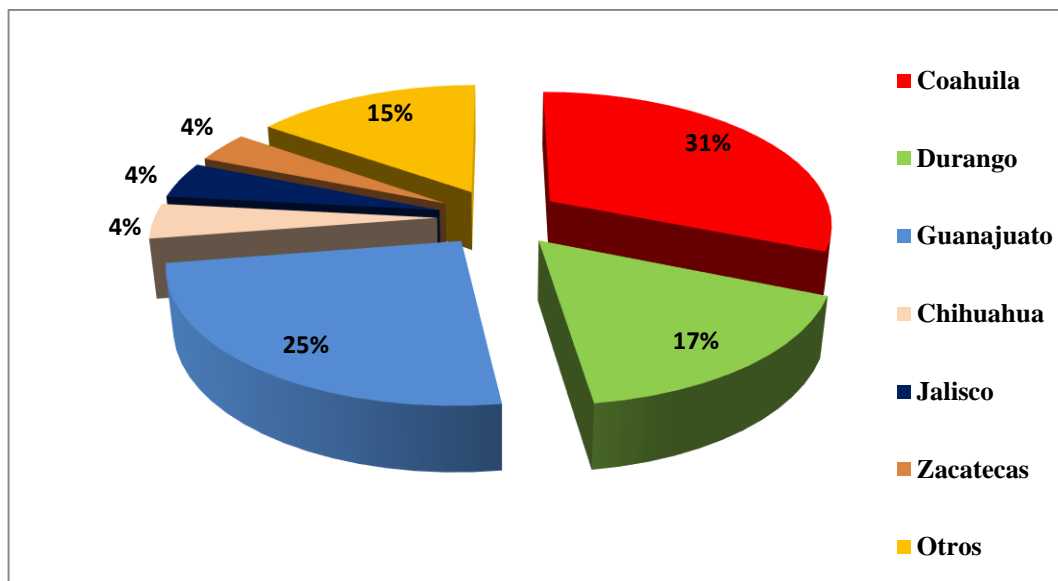


Figura 1. Producción nacional (%) de leche de cabra durante el año 2013 (SIAP, 2013).

2.2. Composición química de la leche de cabra

El principal valor de la leche de cabra se encuentra relacionado con su transformación quesera. Por lo cual, la producción de leche (volumen), contenido de proteína (caseínas) y el contenido de grasa (perfil lipídico) de la leche, toman una gran importancia ya que de estos componentes depende el rendimiento quesero y el tipo de queso producido (Park *et al.*, 2007). La leche de cabra es de color blanco, carece de carotenos y posee glóbulos grasos de tamaño pequeño. Presenta un sabor muy característico que se lo proporciona ciertos ácidos grasos (cáprico, caprónico, caprílico) presentes en la leche (Park *et al.*, 2007). La composición química de la leche de cabra es variable, existiendo diversidad según la raza, etapa de lactación, número de parto (Arbiza y De Lucas, 2001), pero sobre todo la mayor influencia en la composición química es la fuente de alimentación (Sanz Sampelayo *et al.*, 2007). Existen diferencias importantes en la composición química (Cuadro 1) de la leche de cabra con respecto a la de otros mamíferos como la vaca, oveja y la mujer.

Cuadro 1. Composición química (%) de la leche de diferentes especies de mamíferos.

Componente	Cabra	Vaca	Oveja	Mujer
Proteína	3.48	3.23	6.21	1.20
Grasa	4.50	3.42	7.90	4.00
Lactosa	4.11	4.47	4.9	6.90
Cenizas	0.75	0.65	0.90	0.30
Sólido no grasos	8.90	9.00	12.00	8.90

Fuente: Adaptado de Park *et al.* (2007), Ceballos *et al.* (2009).

2.2.1. Proteína en la leche

Durante la lactancia, la glándula mamaria tiene una alta prioridad para utilizar aminoácidos. Su metabolismo en la glándula mamaria es sumamente complejo, estos pueden ser convertidos a otros aminoácidos u oxidados para producir energía. La mayoría de los aminoácidos absorbidos por la glándula mamaria son utilizados para sintetizar proteínas de la leche (Jandal, 1996). Aproximadamente el 95% del nitrógeno de la leche se encuentra en forma de proteína, el resto se encuentra en forma de urea, creatinina, glucosalina, amoniaco, que pasan de la sangre a la leche (Haenlein, 2004). La leche de cabra contiene en promedio 3.6% de proteína (Tsiplakou, *et al.*, 2006), inferior al de la oveja (5.5%), pero superior a la vaca (3.2%) (Zervas y Tsiplakou, 2011). La proteína principal de la leche es la caseína, la cual forma el 90% de la proteína de la leche. Las caseínas contribuyen al alto valor nutritivo de muchos productos lácteos, las proteínas del suero también son sintetizadas como aminoácidos en la glándula mamaria (Hilali *et al.*, 2011).

Algunas proteínas encontradas en la leche (inmunoglobulinas) juegan un papel importante en proporcionar defensas a las crías frente a enfermedades que se presentan en esta etapa fisiológica del recién nacido; las inmunoglobulinas son absorbidas directamente de la

sangre y no son sintetizadas en la glándula mamaria, por lo tanto, su concentración en el calostro no es alto (Cunningham, 1999).

La leche contiene complejos de nitrógeno no proteico en cantidades muy pequeñas, por ejemplo, Hilali *et al.* (2011) reportan valores de 0.27% de nitrógeno no proteico (Cuadro 2).

Cuadro 2. Principales caseínas encontradas en la leche de cabra.

Proteína	Concentración (g/kg)
Caseínas:	
α -caseína	14.0
β -caseína	6.20
κ -caseína	3.70
γ -caseína	1.20
Proteínas del suero	
Inmunoglobulinas	0.60
α –Lactoalbúmina	0.70
β –Lactoglobulina	0.30

Fuente: Hilali *et al.* (2011)

2.2.2. Lactosa en la leche

La lactosa es un disacárido presente en la leche de los mamíferos que aporta la mayor fuente de carbohidratos durante la lactancia. La lactosa se sintetiza en la glándula mamaria a partir de la glucosa y galactosa, su contenido varía en las diferentes especies (Park *et al.*, 2007; Wuattix, 2005). Durante la lactancia, la glándula mamaria tiene una alta necesidad de glucosa, esta se utiliza principalmente para la formación de lactosa (azúcar de la leche).

La cantidad de lactosa sintetizada en la ubre está estrechamente ligada con la cantidad de leche producida cada día, al respecto, Kondyli *et al.* (2012) reportan 4.53% de lactosa en leche de cabras, a la vez mencionan que la producción de leche en las cabras es altamente influenciada por la cantidad de glucosa derivada del propionato producido en el rumen.

2.2.3. Grasa en la leche

La grasa es el principal componente energético en la leche, es responsable de muchas de las propiedades físicas y cualidades organolépticas de la misma y sus productos (Mc Donald *et al.*, 1995). De los componentes de la leche, la grasa como fuente energética está formada por cierto número de lípidos incluyendo mono, di y triglicéridos, ácidos grasos libres, fosfolípidos y esteroides, siendo los triglicéridos el principal elemento de la grasa en la leche (Wattiux, 2005).

Los tipos de lípidos que se sintetizan son complejos, existiendo grandes variaciones en la longitud de sus cadenas y en la saturación de los ácidos grasos observados con base a la especie animal. Al respecto, Matsushita *et al.* (2007), mencionan que la cantidad de grasa producida cambia notoriamente entre las especies e inclusive dentro de ellas. La grasa sintetizada en la glándula mamaria tiene una composición en ácidos grasos característica y estable (Sanz *et al.*, 2009), sin embargo, el contenido de grasa en la leche está determinada por la naturaleza y composición de la dieta (Buccioni *et al.*, 2012). Casi la mitad de la grasa en la leche es derivada del metabolismo de los lípidos en la glándula mamaria, estos ácidos grasos provienen principalmente de las lipoproteínas ricas en triglicéridos (Wattiux, 2005).

La grasa en leche y los productos lácteos contribuyen de modo importante al consumo de ácidos grasos y vitaminas en la dieta humana, y juegan un papel crítico en los atributos sensoriales de estos alimentos (Demment y Allen, 2004; Chen *et al.*, 2004; Chilliard y Ferlay, 2004). Existe una apreciación del consumidor de que los productos de los rumiantes, como la leche, tienen un alto contenido de grasa y son considerados causantes de algunas enfermedades de humanos. En este sentido, en países desarrollados, el alto consumo de ácidos grasos saturados (AGS) está asociado con la leche y productos lácteos

(Valsta *et al.*, 2005), lo cual ha contribuido a una imagen más negativa para estos productos.

2.3. Ácido linoleico conjugado: estructura, configuración y síntesis

El ácido linoleico u octadecadienoico (C18:2 *cis*9 *cis*12) forma parte de los llamados n-6 u omega-6 refiriéndose al número de carbonos que restan después del segundo doble enlace. El ácido linoleico conjugado (CLA, por sus siglas en inglés), es un término colectivo que describe una mezcla posicional y geométrica de los isómeros del ácido linoleico involucrando un doble enlace conjugado en la posición 8 y 10, 9 y 11 u 11 y 13 (Chilliard *et al.*, 2003). Cada una de las posiciones de estos isómeros conjugados pueden ocurrir en configuración geométrica: *cis-trans*, *trans-cis*, *cis-cis* o *trans-trans*. El término “conjugado” hace referencia a que los dobles enlaces del CLA están separados por un enlace simple en vez de dos (Baldin *et al.*, 2014). Más de una docena de isómeros de CLA se han detectado en la leche de los rumiantes. Sehat *et al.* (1998), en un análisis detallando de la grasa de la leche, identificaron 19 diferentes isómeros del CLA. Lock y Bauman (2004) reportan 14 isómeros de CLA que se encuentran naturalmente en la grasa de la leche. El isómero del CLA mayoritario en la leche es el C18:2 *cis*9 *trans*11, también llamado ácido ruménico, que representa entre 75 y 90% del CLA (Palmquist *et al.*, 2005).

El CLA es generado por las bacterias del rumen como producto intermediario de la biohidrogenación del ácido linoleico a ácido esteárico (Figura 2). Esta fracción de CLA sintetizada en el rumen puede ser absorbida y secretada como parte de la leche (Palmquist y Jenkins, 1980). Aunque el ácido ruménico es sintetizado por las bacterias del rumen, su principal origen en la grasa de la leche proviene de la síntesis endógena en la glándula mamaria por la acción de la enzima Δ 9 desaturasa a partir del precursor C18:1 *trans*11, otro intermediario de la biohidrogenación en rumen de los ácidos linoleico y linolénico (Palmquist *et al.*, 2005) (Figura 3).

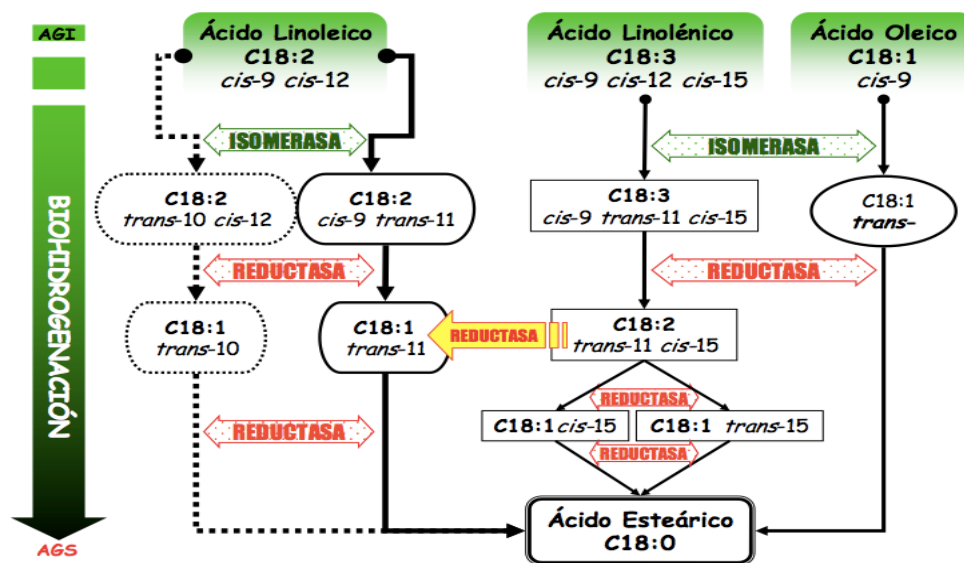


Figura 2. Ruta de biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados (AGI): linoleico, linolénico y oleico (Adaptado de Harfoot y Hazlewood, 1988).

2.3.1. Efectos del ácido linoleico conjugado en la salud humana

Los productos animales contribuyen significativamente al consumo total de alimentos en nuestra dieta, además, son la principal fuente de muchas vitaminas y minerales. Actualmente, la calidad nutricional de los alimentos que componen la dieta humana se ha convertido en una cada vez más importante estrategia para mejorar la salud.

El término “alimentos funcionales” está incrementando su uso como una descripción genérica para los alimentos ingeridos que van más allá de su tradicional valor nutritivo (Milner, 1999), y que cumplen una función específica, como puede ser mejorar la salud o reducir el riesgo de contraer enfermedades. Se han publicado varios trabajos sobre las propiedades funcionales de CLA (Pariza, 1999; McGuire y McGuire, 2000; Whigham *et al.*, 2000). Diversos estudios evalúan los efectos de los diferentes isómeros del CLA sobre la carcinogénesis, composición corporal, sistema inmune y prevención de diabetes mellitus; así como la reducción en el desarrollo de aterosclerosis, aumento de la mineralización ósea y efectos antioxidantes (Park *et al.*, 1997).

El interés del ácido linoleico conjugado como anticarcinógeno deriva de la identificación en la carne, tanto cruda como cocida, de un componente que podría inhibir la mutagénesis (Ha *et al.*, 1987), que más tarde mostró poseer propiedades anticarcinogénicas (Pariza, 1997). A partir de su purificación y síntesis se demostró su eficacia en la supresión de distintos tumores (estómago, próstata, colon, mama) en distintos modelos animales, a concentraciones tan bajas como 0.05% o consumos equivalentes de 2 g/d en la dieta humana (Parodi, 1999; Pariza *et al.*, 2001; Azain, 2003). Recientemente, se observó que el consumo de CLA de productos lácteos está inversamente relacionado al riesgo de cáncer colon-rectal en mujeres (Larsson *et al.*, 2005). Los isómeros específicos del ácido linoleico conjugado que parece ser responsables de aquellos efectos biológicos y clave en los efectos anticarcinogénicos son el C18:2 *cis*9 *trans*11 (Ha *et al.*, 1990; Ip *et al.*, 1994) y el C18:2 *trans*10 *cis*12 (Park *et al.*, 1997).

2.3.2. Factores que influyen en la concentración de CLA en la leche de cabra

El contenido de C18:2 *cis*9 *trans*11 en leche y otros productos lácteos está afectado por múltiples factores que están relacionados con el ambiente, el animal y el manejo. De la combinación de dichos factores deriva la gran variabilidad de resultados entre las muestras de leche y carne colectadas de grupos de animales alimentados con la misma dieta y criados en condiciones similares (Khanal y Olson, 2004).

La manipulación de la dieta pueden alterar el contenido de C18:2 *cis*9 *trans*11 en la grasa de la leche hasta cinco veces en el caso de bovinos (Bauman *et al.*, 2001; Chilliard *et al.*, 2000), aunque el contenido de C18:2 *cis*9 *trans*11 no se ve afectado por el rendimiento de leche, contenido de grasa en leche o rendimiento de grasa (Kelsey *et al.*, 2003; Lock *et al.*, 2005) pero, aun dentro del mismo rebaño, hay una gran variabilidad entre animales en el contenido de C18:2 *cis*9 *trans*11 en leche (Kelly *et al.*, 1998; Schroeder *et al.*, 2005). Mientras la variación individual es considerable, el procesado de la leche parece tener escasa influencia.

2.3.2.1. Estrategia de alimentación

La variación en el contenido del CLA en la leche se produce principalmente por efecto de la dieta (Chilliard *et al.*, 2014). La manipulación de la dieta del animal ha sido el foco para incrementar el contenido de CLA en los alimentos de los rumiantes y continuará siendo el principal intento de la investigación en nutrición animal para elevar su contenido en leche. Se ha observado el incremento del contenido de CLA en leche por medio del pastoreo, la suplementación con aceite de plantas y semillas (Matsushita *et al.*, 2007).

Chilliard *et al.* (2014), mencionan que los efectos dietéticos pueden agruparse en tres categorías en función del método de acción:

- a) Factores que proporcionan sustratos lipídicos para la biohidrogenación en el rumen (aceites vegetales, semillas de oleaginosas, grasas animales).
- b) Factores que alteran el medio ambiente ruminal (forrajes, concentrados, aceites de pescado).
- c) Factores que combinan sustratos lipídicos y modificación de la microbiota ruminal (pasto).

Varios estudios han demostrado que el incremento de la cantidad de carbohidratos rápidamente digestibles en la dieta están asociados con el incremento del isómero del ácido linoleico conjugado C18:2 *trans*¹⁰ *cis*¹² y del ácido C18:1 *trans*¹⁰ (Griinari *et al.*, 1998; Piperova *et al.*, 2000; Shingfield *et al.*, 2005), ambos asociados con la reducción del porcentaje de grasa de la leche (Griinari *et al.*, 1998; Piperova *et al.*, 2000; Peterson *et al.*, 2003).

La conservación del forraje, como heno o ensilado, afecta al contenido de ácido linolénico y de C18:2 *cis*⁹ *trans*¹¹ en la grasa de la leche, como consecuencia de que en el forraje conservado disminuye la proporción de linolénico y aumenta la de palmítico (Noble *et al.*, 1974). Por lo tanto, la alimentación con forrajes frescos presenta un efecto más positivo para este parámetro que cuando son alimentadas con forrajes conservados, ya que el forraje fresco a diferencia del conservado, favorece la cantidad de ácido mirístico y ácido

palmítico, a partir de AG monoinsaturados y polinsaturados, incluyendo el C18:2 *cis*9 *trans*11 (Chilliard *et al.*, 2001a).

2.4. Metabolismo de lípidos en el rumen

Los alimentos utilizados para la alimentación de rumiantes varían en su contenido de lípidos; las dietas consumidas por animales en producción de leche solo contienen de 4 a 6% de lípidos (Sanz *et al.*, 2009), por lo tanto, el factor de mayor influencia sobre la composición de los ácidos grasos de la leche es la composición de la dieta (Buccioni *et al.*, 2012) solo pequeñas cantidades se encuentran en forrajes y semillas, sin embargo algunas semillas, entre ellas las oleaginosas, llegan a acumular cerca de un 20% de lípidos (McDonald *et al.*, 1995).

Los lípidos son insolubles en agua, pero solubles en solventes orgánicos comunes como éter, cloroformo, hexano (McDonald *et al.*, 1995). Existen dos importantes transformaciones en el rumen de los lípidos de la dieta: la lipólisis y la biohidrogenación, ambos procesos efectuados por la población microbiana, dando ácidos grasos libres y glicerol (Buccioni *et al.*, 2012); éste es fermentado para producir ácido propiónico, que será absorbido junto con los ácidos grasos volátiles a través de la pared ruminal (Figura 3). Los ácidos grasos libres son saturados, esto se debe a que el medio ruminal es reductor con un exceso de hidrógeno, produciendo la hidrogenación de los ácidos grasos insaturados (McDonald *et al.*, 1995).

En rumen, de 70 a 90% de los ácidos grasos polinsaturados son saturados principalmente a ácido esteárico o isómeros *trans* de ácidos grasos monoinsaturados (Palmquist y Jenkins, 1980), como resultado, la grasa que sale del rumen en su mayoría está saturada, por lo que los productos de rumiantes tienden a ser más saturados que los de monogásticos (Jenkins *et al.*, 2008).

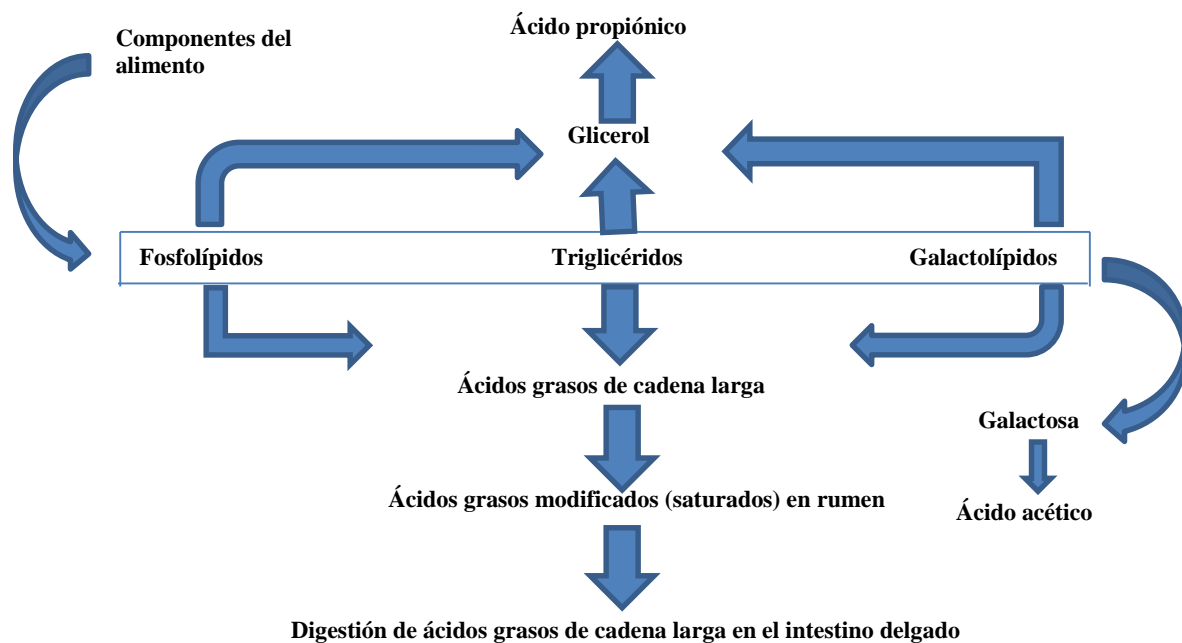


Figura 3. Esquema de la digestión de la grasa en rumiantes (Buccioni *et al.*, 2012).

Se han identificado dos importantes transformaciones de los lípidos de la dieta en el rumen: la lipólisis y la biohidrogenación, ambos procesos tienen lugar por la acción de la población microbiana, llegan a una reducción de 70 a 90% de los ácidos grasos poliinsaturados transformándolos a saturados principalmente el ácido esteárico o a isómeros *trans* de ácidos grasos monoinsaturados (Palmquist y Jenkins, 1980).

2.4.1. Lipólisis

Cuando los lípidos de las dietas son consumidos por el animal, estos son hidrolizados ampliamente por las lipasas microbianas que hidrolizan los esteres vinculados en los complejos de los lípidos, liberando los ácidos grasos (Figura 4) (Jenkins, 1993).

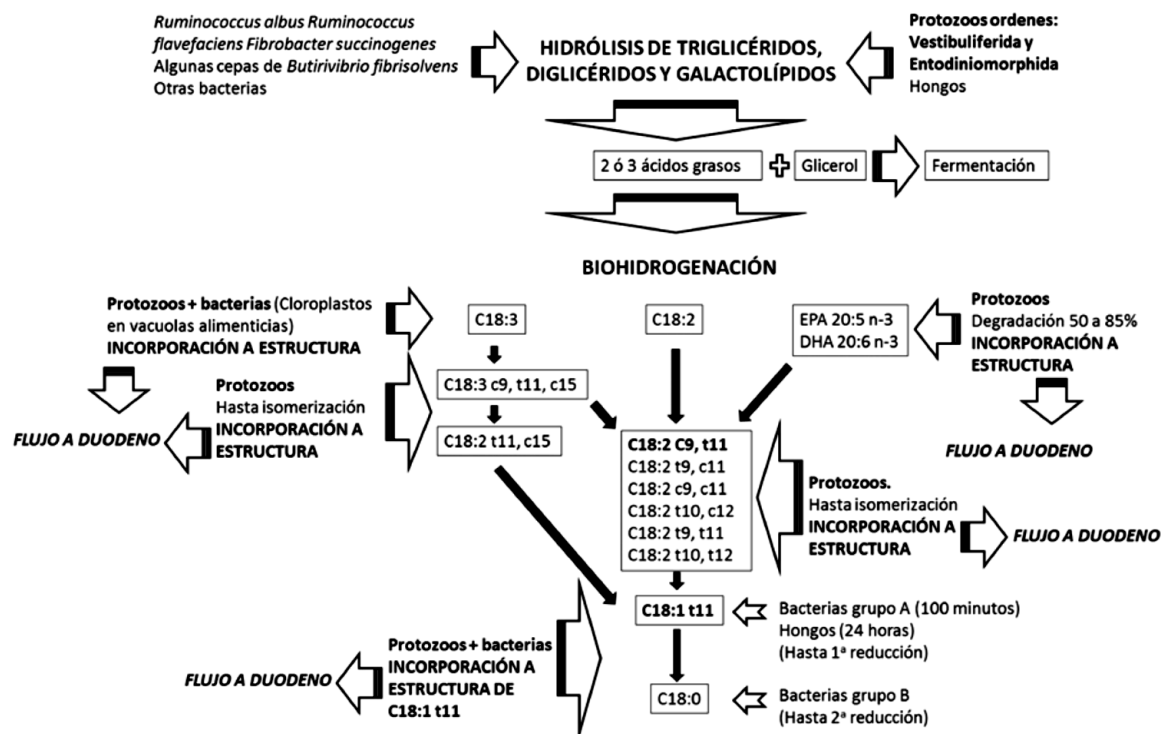


Figura 4. Metabolismo de los lípidos (lipólisis y biohidrogenación) contenidos en la dieta (Adaptado de Zapata *et al.*, 2012).

La hidrólisis de los lípidos se atribuye a una gran variedad de galactosidasas y fosfolipasas producidas por la flora ruminal aunque también se ven involucrados los protozoos, pero la bacteria *Anaerovibrio lipolytica*, es el mayor agente lipolítico en el rumen. Esta bacteria produce dos enzimas hidrolíticas, una celulo-estereasa y una lipasa extracelular, con actividad hacia triglicéridos y ácidos grasos esterificados (Vilmar, 2011), y algunas cepas de *Butyrivibrio fibrisolvens* poseen actividad estereasa, pero pocas pueden hidrolizar esteres de ácidos grasos de cadena larga (Buccioni *et al.*, 2012).

Las bacterias del rumen sintetizan las lipasas que hidrolizan fácilmente los ácidos grasos insaturados de 18 carbonos presentes en los forrajes y semillas de oleaginosas, y de esta forma, hacerlos disponibles para la biohidrogenación ruminal (Chilliard *et al.*, 2007).

Debido a que el grupo carboxilo es necesario para la hidrogenación de los ácidos grasos saturados, la lipólisis se convierte en un prerrequisito para la biohidrogenación (Chalupa y Kutches, 1968). La tasa de lipólisis es un factor importante en la determinación de los productos de la biohidrogenación (Wu y Palmquist, 1991) porque altera la liberación y posterior concentración de ácidos grasos que sufren la hidrogenación, porque la concentración de algunos ácidos grasos puede inhibir su hidrogenación (Noble *et al.*, 1974), alterando la concentración de sus intermediarios.

2.4.1.1. Factores que afectan la lipólisis

2.4.1.1.1. El pH

Es sabido que el pH ruminal afecta a la población microbiana del rumen y, por lo tanto, a los patrones de fermentación, el pH ruminal depende principalmente de las características de la dieta; una fermentación activa del exceso de carbohidratos en el rumen, propicia un descenso del pH, valores por debajo o encima del valor normal (6.7) podría ser desfavorable para la acumulación de isómeros del ácido linoleico conjugado, esto debido a que el proceso enzimático y de biohidrogenación se ve afectado (Chilliard *et al.*, 2007). Van Nevel y Denmeyer. (1996) mencionan que la cantidad total de bacterias lipolíticas viables en el fluido ruminal, decrece en un 96% debido a la alimentación en vacas lactantes a una proporción de forraje de 80:20, comparado con una dieta con la relación 45:55. Además, con pH de 7.1 a 6.6 la actividad de las lipasas microbianas se reduce.

2.4.1.1.2. La dieta

Independientemente del nivel de pH en el rumen, las dietas altas en granos y la baja disponibilidad de fibra en la dieta, reducen el número de bacterias tales como *B. fibrisolvens* y *vibrios* lipolíticas (Vilmar, 2011), lo cual afecta el proceso de hidrolisis de los ácidos grasos insaturados, ya que estas son las bacterias lipolíticas primarias en el rumen bajo condiciones normales de alimentación (Martínez *et al.*, 2010).

En estudios *in vitro*, el incremento de la relación almidón y fibra en la dieta ha demostrado que perjudica la tasa de lipólisis de los lípidos de la dieta (Gerson *et al.*, 1985) y es un

factor importante en el control de la formación de intermediarios de la biohidrogenación en el rumen (Griinari y Bauman, 2006). Las dietas altas en grano promueven el crecimiento de cepas de bacterias *Megasphaera elsdenii* (Kim *et al.*, 2002), debido a la disminución del pH en rumen, y causa un rápido declive de *Butyrivibrio fibrisolvens*, principal bacteria que digiere la celulosa (Klieve *et al.*, 2003) y, de acuerdo con Bauman y Griinari (2001), la actividad isomerasa de la bacteria *Megasphaera elsdenii* es capaz de convertir en C18:2 *trans*10 *cis*12 y C18:1 *trans*10, mientras *Butyrivibrio fibrisolvens*, produce C18:2 *cis*9 *trans*11 y C18:1 *trans*11, como intermediarios de la BH del ácido linoleico.

De acuerdo con Beam *et al.* (2000), el factor primario que afecta la tasa de lipólisis del ácido linoleico contenido en el aceite de soya fue la concentración de aceite en el medio de cultivo, la lipólisis declinó de 44% a 22% cuando la concentración de aceite de soya se incrementó de 2 a 10%.

2.4.2. Biohidrogenación (BH)

Los AG poliinsaturados representan un riesgo tóxico para muchos de los microorganismos del rumen (Harfoot y Hazlewood, 1997). Para protegerse de estos efectos tóxicos, los microorganismos del rumen tienen la capacidad de hidrogenar los lípidos de la dieta (Kemp y Lander, 1984; Harfoot y Hazlewood, 1997). Consecuentemente, los AG de los productos de los rumiantes tienden a ser más saturados que aquellos de los no-rumiantes.

La biohidrogenación más estudiada y mejor conocida es la de los ácidos grasos poliinsaturados mayoritarios en la fracción lipídica de los alimentos vegetales para el ganado: el ácido linoleico y linolénico. Partiendo del ácido linoleico, dos reacciones tienen lugar en la primera etapa de BH. La primera es una reacción de isomerización del doble enlace *cis*12 a *trans*11 por la enzima *cis*9 *trans*11 isomerasa o linoleato isomerasa. Así pues, esta enzima conduce a la formación de uno de los isómeros mayoritarios del ácido linoleico conjugado, el C18:2 *cis*9 *trans*11 (Figuras 2 y 5). Esta isomerización es extremadamente rápida (Kepler *et al.*, 1966). La segunda reacción es la reducción del C18:2 *cis*9 *trans*11 a C18:1 *trans*11 o ácido vaccénico (Kepler *et al.*, 1966; Mills *et al.*,

1970; Noble *et al.*, 1974; Fellner *et al.*, 1995) y también C18:1 *cis*11 en menor medida (Fellner *et al.*, 1995).

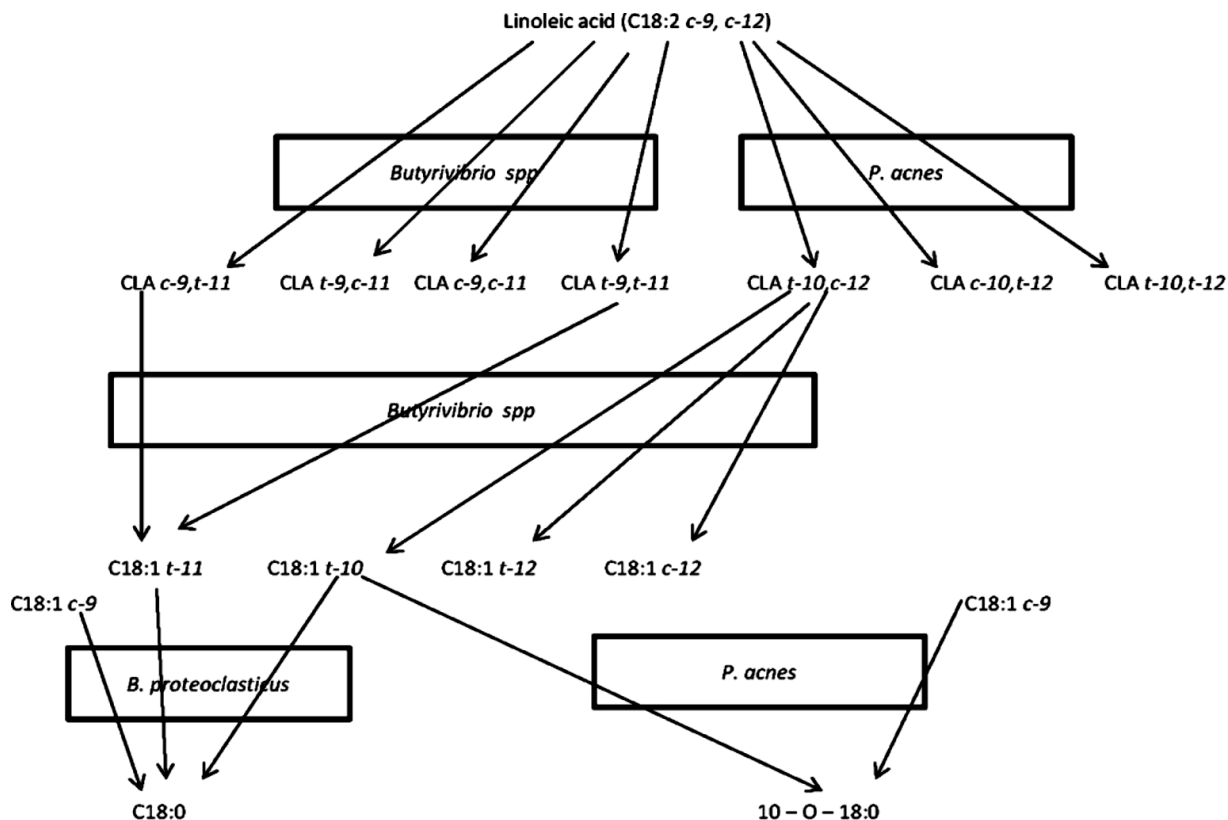


Figura 5. Rol de *Butyrivibrio spp.*, *Propionibacterium acnes* y *Butyrivibrio proteoclasticus* sobre la biohidrogenación del ácido linoleico [Adaptado de: McKain *et al.* (2010) y Wallace *et al.* (2006)].

Cuando se parte del ácido linolénico, sus dos isómeros *cis* (C18:3 *cis*9 *cis*12 *cis*15 ó α -linolénico y C18:3 *cis*6 *cis*9 *cis*12 ó γ -linolénico) son isoméridados en el doble enlace *cis* 12 a *trans*11 seguido de una reacción de los dobles enlaces *cis* hasta la formación de C18:1 *trans*11, C18:1 *cis*15 ó C18:1 *trans*15. La segunda etapa de la BH convierte los isómeros C18:1 a ácido esteárico. Esta etapa se realiza de una manera más lenta, por lo tanto, puede tener lugar en el rumen un incremento del producto intermedio, ácido vaccénico principalmente, que lo hace más disponible para ser absorbido en el intestino (Bauman *et*

al., 1999). Se ha observado que el ácido C18:1 *trans*11 es el isómero *trans* predominante en la BH del ácido linoleico (Bauman y Griinari, 2001).

2.4.2.1 Microorganismos involucrados en la biohidrogenación

El entorno del rumen se caracteriza por tener una concentración de 10^{10} bacterias, 10^7 protozoarios y 10^6 de hongos por ml de líquido ruminal, con un rango de pH entre 6.0 a 6.7, y cualquier desviación de estas condiciones puede influir en la población microbiana y sus productos de la fermentación (Buccioni *et al.*, 2012).

Evidencias experimentales, indican que *Butyrivibrio fibrisolvens* es una de las bacterias que tienen una alta capacidad de biohidrogenación (Bauman *et al.*, 1999; Maia *et al.*, 2010). Sin embargo, la biohidrogenación completa de los ácidos grasos insaturados depende de la actividad conjugada de más de una especie de bacterias ruminales (Buccioni *et al.*, 2012) (Figura 5). Jenkins (1993), menciona que la principal bacteria involucrada en el proceso de biohidrogenación es *B. fibrisolvens lipase*, principal bacteria que puede realizar la hidrogenación de los ácidos grasos insaturados.

En rumiantes, la alimentación con grandes cantidades de aceites vegetales tiene el potencial de inhibir la fermentación ruminal, y por ende decrecer la cantidad de bacterias y protozoarios presentes en el rumen (Yang *et al.*, 2009).

El efecto negativo de la suplementación con AGI sobre los parámetros de fermentación ruminal se explica por la reducción de bacterias celulolíticas. Al respecto, Yang *et al.* (2009) evaluaron dos fuentes de aceite (soya y linaza; 4% BS) en la dieta de vacas lecheras, reportan una disminución de *Butyrivibrio fibrisolvens*, *Fibrobacter succinogenes* y *Ruminococcus flavencien*, por efecto de la suplementación, concluyendo, que de los dos ácidos presentes en estos aceites, el ácido linolénico es el más potente reductor de la cantidad de estas bacterias, comparado con el ácido linoleico.

Según Jenkins *et al.* (2008), los protozoos, con la fagocitación de las bacterias inhiben el último paso de la BH mientras que hay una actividad considerable de las reacciones de

isomerización y reducción del primer paso, resultando en la formación de C18:2 *cis*9 *trans*11, manteniendo la presencia de ácido linoleico, pero disminuye la formación de C18:0. Esto tiene implicaciones importantes para el papel de los protozoos en el flujo de C18:2 *cis*9 *trans*11 y C18:1 *trans*11 desde rumen. La disponibilidad de estos ácidos para la absorción intestinal por el animal hospedador podría depender del flujo de protozoos desde rumen más que el de las bacterias. Yañez-Ruíz *et al.* (2006) observaron que el flujo de AG de origen protozoario al duodeno de terneros fue entre 30 y 43 % de C18:2 *cis*9 *trans*11 y 40 % de C18:1 *trans*11. Así, los protozoos por si mismos no producen C18:2 *cis*9 *trans*11 ni C18:1 *trans*11, sin embargo tienen gran influencia significativa sobre los flujos C18:2 *cis*9 *trans*11 y C18:1 *trans*11 disponible para el animal hospedador.

Algunos ácidos grasos *trans*, formados como intermediarios de la BH de los AGI por las bacterias ruminales, han sido descritos como uno de los factores que desencadenan el síndrome de la depresión de la grasa (MFD; Davis y Brown, 1970). Así, el ácido linoleico puede ser isomerado por la *trans*10 *cis*12 isomerasa en lugar de la *cis*9, *trans*11 isomerasa, dando lugar al isómero C18:2 *trans*10 *cis*12, caracterizado por sus efectos negativos sobre la grasa de la leche (Bauman *et al.*, 1999). La intervención de ácidos grasos *trans* en el desarrollo de este trastorno ha sido observado más frecuentemente con dietas que contienen aceites de plantas o pescado (Bauman y Griinari, 2001), no obstante, también se ha relacionado con el incremento de *trans* C18:1 en la grasa de la leche con en un amplio rango de dietas (Griinari *et al.*, 1995).

La vía alternativa de la BH del ácido linoleico para formar C18:1 *trans*10 comienza con una isomerización del doble enlace *cis*9 para formar C18:2 *trans*10 *cis*12 seguido por una reducción del doble enlace *cis*12 para dar C18:1 *trans*10 (Figura 2). El isómero C18:2 *trans*10 *cis*12 del ácido linoleico conjugado normalmente está presente en la grasa de la leche pero en concentraciones muy bajas (<0,06 % del total de AG) y representa <2 % del total de isómeros del ácido linoleico conjugado (Bauman *et al.*, 2000). El efecto negativo del isómero del ácido linoleico conjugado C18:2 *trans*10 *cis*12 sobre la inducción del MFD, además de estar asociado con el desarrollo de acidosis ruminal, se ha observado que

disminuye la expresión de genes que codifican las enzimas relacionadas con el contenido de grasa en leche, incluyendo la síntesis de AG de *novo* en la glándula mamaria, principalmente por la reducción de ácidos grasos de cadena corta y media (Bauman y Griinari, 2001), y la desaturación de AG por acción de la enzima $\Delta 9$ -desaturasa (Baumgard *et al.*, 2002).

2.4.2.2. Factores que afectan a la biohidrogenación

2.4.2.2.1. El pH

La actividad lipolítica en el rumen es más sensible a cambios de pH y puede ser responsable de la disminución de la aparente biohidrogenación cuando se ofertan dietas altas en concentrados (Mele *et al.*, 2008). Lathan *et al.* (1972) mencionan, que por efecto de una baja tasa de lipólisis, consecuencia de un pH bajo en el rumen, la biohidrogenación de los ácidos linolénico y linolénico presentes en el aceite de soya disminuyó en un 59 y 63% en fluido ruminal cuando se alimenta a rumiantes con dietas altas en grano y bajas en forraje. Además los isómeros *trans* C18:1 se incrementan cuando las dietas son altas en concentrado indicando que la reducción de los C18:0 es afectado por el pH y/o los cambios en la población bacteriana.

Los cambios en la población bacteriana del rumen son con frecuencia el resultado de la disminución del pH por el incremento en la producción de propionato (Van Soest, 1994) asociado a los cambios en la dieta rica en concentrados y pobre en fibra, lo que influye sobre las rutas de BH predominantes y en la formación de isómeros *trans* C18:1 producidos en rumen y su contenido en la grasa de la leche (Griinari *et al.*, 1998; Piperova *et al.*, 2002; Shingfiel *et al.*, 2005).

Cuando el pH es de 6.8 a 5.2 en el fluido ruminal, existe una inhibición sustancial de la lipólisis, pero la biohidrogenación de los ácidos linoleico y linolénico no se altera notablemente hasta que el pH muestra niveles inferiores a 5.2, cuando el pH se mantuvo con este valor se obtuvo un 65% de la biohidrogenación del ácido linoleico y linolénico, sin embargo, con pH de 6.8 se obtuvo un 96%.

2.4.2.2.2. La dieta

Los cambios en la población bacteriana del rumen son con frecuencia el resultado de la disminución del pH por el incremento en la producción de propionato (Van Soest, 1994), asociado a los cambios en la dieta rica en concentrados y pobre en fibra, lo que influye sobre las rutas de la biohidrogenación predominantes y en la formación de isómeros *trans* C18:1 producidos en el rumen y su contenido en la grasa láctea (Griinari *et al.*, 1998).

Dietas ricas en forraje, como el ensilado, con un largo tiempo de permanencia en el rumen, pueden estimular en mayor grado la alta densidad de los microorganismos (Fonty y Grenet, 1994), excepto cuando la fuente de fibra esta finamente molida o cuando estos son suplementados con carbohidratos solubles.

Aunque la hidrogenación del ácido linoleico y linolénico en rumen son prácticamente completas, 85 y 90 % respectivamente, el grado de BH ruminal puede disminuir con el consumo de dietas ricas en concentrados (Doreau y Ferlay, 1994), lo cual es asociado a cambios en la población bacteriana causando una reducción de la BH en la conversión de *trans* C18:1 a ácido esteárico (Van Nevel y Demeyer, 1996) afectando la producción de la grasa en leche (Doreau *et al.*, 1999).

El grado de biohidrogenación varia acorde al método de suplementación de la grasa; la suplementación de aceites o grasas protegidas, por encima del 3.5% de la MS podría deprimir la digestibilidad de la fibra (Palmquist, 1991). Algunas investigaciones demuestran que la proporción de forraje en la dieta es determinante en la composición de AG en la leche de vacas consumiendo aceite de linaza o girasol (Chilliard y Ferlay, 2004).

2.4.3. Absorción de los lípidos

La mayoría de los lípidos que salen del rumen son ácidos grasos saturados (85 a 90%), principalmente en forma de ácidos palmítico y esteárico, ligados a partículas de alimento y microorganismos, el porcentaje restante corresponde a los fosfolípidos microbianos (10 a 15%). Estos son digeridos en el intestino delgado y allí contribuyen a formar la masa total

de los ácidos grasos procesados y absorbidos a través de la pared del intestino (McDonald *et al.*, 1995). En las células intestinales, una porción importante de los ácidos grasos son ligados con el glicerol (proveniente de la glucosa de la sangre) para formar triglicéridos, posteriormente son cubiertos por proteínas para formar lipoproteínas de baja densidad ricas en triglicéridos, estas entran a los vasos linfáticos y de ahí pasan al canal torácico y así llegan a la sangre (Cunningham, 1999).

2.5. Metabolismo de lípidos en la glándula mamaria

La síntesis endógena, también llamada síntesis de *novo*, en la glándula mamaria de los AG con longitud de cadena carbonada de C6:0 a C16:0, se da en el citosol, e implica dos pasos principales, el paso inicial es la ATP y la carboxilación dependiente de bicarbonato de Acetil-CoA, para formar malonil CoA, catalizada por acetil-CoA carboxilasa y el segundo paso es la conversión de acetil-CoA y malonil-CoA a palmitato, catalizado por la sintetasa de ácidos grasos (Knudsen y Grunnet, 1982).

La cantidad de grasa contenida en la dieta, tiene efecto sobre el contenido de grasa de la leche y de su perfil lipídico, lo cual depende de su biohidrogenación ruminal y la síntesis de *novo* de los ácidos grasos en la glándula mamaria (Chilliard *et al.*, 2014).

Numerosos trabajos realizados en rumiantes lecheros, han demostrado que el aumento del consumo de AGI presentes en la dieta, disminuyen el contenido de AGS en la leche. Chilliard y Ferlay, (2004) mencionan que dicha respuesta puede tener dos orígenes, por un lado, la disminución de la producción de ácidos grasos volátiles en el rumen, por efecto del consumo de los AGI sobre la fermentación microbiana de las paredes vegetales, lo cual reduce la cantidad de sustrato (acetato) disponible para la síntesis de *novo* de AGS de cadena corta y media en las células mamarias. Por otra parte, la actividad de las enzimas responsables de la síntesis de *novo* podría inhibirse por el aumento de la disponibilidad de los AG de cadena larga para la ubre debido a su mayor absorción en el intestino (Zened *et al.*, 2011).

Varios estudios han confirmado que isómeros específicos de *trans* C18:1 y CLA inhiben la cantidad de las enzimas lipogénicas en la glándula mamaria de los rumiantes (Chun-Lei *et al.*, 2010), y por lo tanto el metabolismo de los AGI en el rumen está directamente vinculada con la lipogénesis en el tejido mamario (Chilliard *et al.*, 2014).

2.5.1. Desaturación de los ácidos grasos

Tal como observaron Chilliard *et al.* (2001a) y Wijesundera *et al.* (2003), suele haber una relación lineal entre la concentración del ácido vaccénico y del ácido C18:2 *cis*-9 *trans*-11 en la leche de vaca, por lo que puede ocurrir una posible síntesis de C18:2 *cis*9 *trans*11 a partir de ácido vaccénico. En efecto, el C18:2 *cis*9 *trans*11 puede originarse de la glándula mamaria gracias a la acción de la Stearoyl CoA Desaturasa (Δ 9-desaturasa), una enzima que actúa sobre el C18:1 *trans*11 introduciendo un doble enlace *cis* en la posición del carbono 9 (Bauman *et al.*, 1999; Chilliard *et al.*, 2001b).

La desaturación de los AG, consiste en la eliminación enzimática de hidrógeno a partir de un grupo metileno, un paso que requiere de energía y un oxígeno intermedio activo. La Δ 9 desaturasa es una proteína microsomal que cataliza el paso comprometido crítico en la biosíntesis de AGMI mediante la introducción del primer doble enlace *cis* en la posición 9 de la cadena de carbono (Chun-Lei *et al.*, 2010).

La desaturasa es todo un complejo de enzimas que incluye el citocromo NADH b5-reductasa, el citocromo b5, la Acil Co A-sintetasa y la Stearoyl Co A-desaturasa. Según Bauman *et al.* (1999) este mismo sistema enzimático no solo participa en la formación del isómero C18:2 *cis*9 *trans*11, sino también en la formación de otros isómeros del ácido octadecadienoico *cis*9 *trans*-n, como es el caso del *trans*-7 *cis*9 o *cis*9 *trans*13. Sin embargo, el ácido C18:2 *cis*9 *trans*11, el más frecuente entre todos los isómeros del CLA en la leche (Pariza *et al.*, 2000; Mir *et al.*, 2000), es parcialmente absorbido a través de la pared intestinal tras la isomerización del ácido linoleico que tiene lugar en el rumen (aunque parte de linoleico escapa a la BH en el rumen), y posteriormente llega a la glándula mamaria para ser secretado en la leche. Aun así, parece que la mayor parte (75 %) del ácido

ruménico presente en la leche proviene de la desaturación del ácido vaccénico en la glándula mamaria (Chilliard *et al.*, 2001a).

Bernard *et al.* (2005) al suplementar aceites vegetales en la dieta a cabras alpinas, concluyen que dicha suplementación disminuye la actividad de la enzima $\Delta 9$ desaturasa. Bouattour *et al.* (2008), al suplementar 2.5% de aceite de soya en la dieta a cabras Murciano Granadinas no reportan diferencias con relación a la desaturación de los C16:0 a C18:1 y CLA, pero decreció para los C14:0, por efecto de la suplementación, este descenso se debió a que se observó un incremento de AGPI.

2.6. Utilización de fuentes de lípidos en la dieta animal

Los lípidos contienen 2.25 veces más energía que los carbohidratos (McDonald *et al.*, 1995). Los cambios notados en la ingestión de los alimentos y la producción de leche varían mucho según la fuente de lípidos agregados a la dieta. La producción de leche es maximizada cuando los lípidos forman 5% de la materia seca de la dieta. En consecuencia Buccioni *et al.* (2012) mencionan que una elevada cantidad de lípidos en la dieta usualmente reduce la proteína en la leche en un 0.1%. Además un exceso de lípidos puede reducir la ingestión de los alimentos, producción de leche y la composición de la grasa de la leche. Sin embargo, el administrar lípidos en la dieta tiene ventajas; limita la necesidad para concentrados ricos en carbohidratos, que típicamente son necesarios en la primera parte de la lactancia cuando las hembras están en equilibrio negativo para la energía.

La adición de aceites vegetales como girasol, soya, maíz, canola, lino, como complemento en la dieta suele producir incrementos importantes en la concentración de CLA y ácidos grasos *trans* en la leche (Chilliard *et al.*, 2001a). Varios autores observaron efectos positivos de la complementación con aceite de soya sobre la concentración de CLA en la leche (Dhiman *et al.*, 2000, Chilliard *et al.*, 2001a). Aceites ricos en ácido linoleico como el girasol son más eficientes para incrementar el CLA; un alto nivel de ácido linoleico puede llegar a saturar las bacterias responsables de la biohidrogenación en rumen y por

consiguiente inhibir la biohidrogenación del ácido vaccénico que representa un fuente disponible para la síntesis de CLA en la glándula mamaria (Loor y Herbein, 2003).

A diferencia de las vacas lecheras, las cabras tienden a aumentar la grasa en leche cuando se suministra grasa en su dieta (Chilliard *et al.*, 2003). Diferentes investigaciones con respecto a la adición de aceites vegetales se han realizado, principalmente en vacas lecheras. Sin embargo, Matsushita *et al.* (2007) compararon tres fuentes de aceite (soya, canola y girasol) y observaron aumento de AR y reducción AGS en la leche de cabras por efecto de la suplementación. Mele *et al.* (2008) reportaron incrementos en la producción de leche, contenido de grasa y concentración de AGI, incluyendo el AR, concluyendo que el incremento depende de la fuente de aceite y etapa de lactación, pero detectaron que fueron principalmente en la primera fase de lactación. Otros autores (Almeida *et al.*, 2013) observaron disminución del contenido de AR en leche de cabras al aumentar el nivel de aceite de soya en la dieta. Bouattour *et al.* (2008) adicionaron 6% (base húmeda) de aceite de soya en el concentrado complementario al heno de pasto y alfalfa peletizada, observaron un incremento de 200% en el contenido de AR y VAC en leche de cabras Murciano-Granadina. Pocos trabajos (Kouakou *et al.*, 2009) han evaluado la inclusión de más de 5% (BS) de aceite de soya en la dieta de cabras pero sin reportar el contenido de AR y VAC en leche. Las cabras pueden tolerar de 10 a 15% de aceites de origen vegetal en la dieta sin mostrar los efectos negativos observados en vacas lecheras (Carmichael *et al.*, 2003), pero se desconoce cuál es la calidad nutricional de la grasa de la leche.

III. JUSTIFICACIÓN

Los productos derivados de las especies pecuarias con destino a consumo humano deben ser considerados como productos que no causan enfermedades, y que aportan nutrientes esenciales. El consumo de ácidos grasos saturados (laúrico, mirístico, palmítico), presentes en la leche, aumentan los riesgos de padecer enfermedades cardiovasculares en las personas (Williams, 2000), por el contrario, el consumo de leche y productos lácteos ricos en ácidos grasos insaturados, reducen dichos problemas cardiovasculares, el riesgo de padecer cáncer de mama y cáncer de colon (McGuire y McGuire, 2000).

Existen diferentes factores que modifican la composición química de la leche, principalmente la grasa, siendo la manipulación de la dieta el más importante. Dos aspectos de la composición de la dieta del animal que podrían determinar, no solo el contenido de grasa de la leche si no también la composición de ácidos grasos, son: la cantidad y naturaleza de la fibra y, la cantidad y naturaleza de la fuente de grasa en la dieta, Por lo tanto, por manipulación del tipo de grasa en la dieta, es posible obtener leche con determinadas características nutricionales.

La adición en la dieta de fuentes de grasa (aceites de semillas de leguminosas) ricas en ácido linoleico, induce a un incremento en el contenido de ácidos grasos poliinsaturados, sin verse afectado el contenido de proteína, grasa y lactosa presentes en la leche.

Existe poca información acerca de la suplementación de aceites ricos en ácidos grasos polinsaturados en la dieta de cabras y de manera prolongada bajo sistemas de producción intensiva y de cómo ésta estrategia de alimentación tiene efecto sobre la respuesta en la composición química y el perfil lipídico de la leche de cabra, suplementadas a dosis alta.

IV. HIPÓTESIS

El aceite de soya añadido en la dieta de cabras Saanen en un sistema de producción intensivo afecta el rendimiento, la composición química y al perfil de ácidos grasos de la leche.

V. OBJETIVOS

GENERAL

Evaluar el efecto de la adición de aceite de soya en la dieta de cabras Saanen en un sistema de alimentación intensivo sobre la producción, composición química y perfil de ácidos grasos de la leche.

ESPECÍFICOS

Evaluar la respuesta productiva (consumo de alimento, cambio de peso vivo y producción de leche) de cabras Saanen alimentadas con y sin aceite de soya.

Determinar la composición química de la leche de cabras Saanen alimentadas con y sin aceite de soya.

Determinar el perfil lipídico, con énfasis en el ácido ruménico y vaccénico, de la leche de cabras Saanen alimentadas con y sin aceite soya.

VI. MATERIALES Y MÉTODO

6.1. Área de estudio

El estudio se realizó en el área de ovinos y caprinos de la Posta Zootécnica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México, ubicada a una longitud de 19° 24' 48'', latitud de 99° 40' 45'', con una altura de 2632 metros sobre el nivel del mar (INEGI, 2014).

6.2. Animales y tratamientos

Se utilizaron diez cabras adultas multíparas de raza Saanen en producción en su primer tercio (19 ± 5 días) de lactación, las cuales fueron divididas en dos grupos homogéneos acorde a la producción láctea (2.3 ± 0.6 kg/d) y peso vivo (48 ± 6.5 kg).

Las dietas ofertadas a los animales fueron una ración completa mezclada (TMR, por sus siglas en inglés) en estabulación, teniendo como base forrajera ensilado de maíz. Las dietas se formularon para ser isoproteicas e isoenergéticas de acuerdo a los requerimientos del NRC (2007) para pequeños rumiantes. En el Cuadro 3 se muestran los valores los ingredientes de las dietas experimentales.

Los tratamientos evaluados fueron los siguientes:

- 1) **Control (CTRL)**. Dieta TMR sin la adición de aceite de soya.
- 2) **Aceite de soya (SOYA6)**. Dieta TMR con la adición de 6% (BS) de aceite de soya.

6.3. Desarrollo Experimental.

Durante la fase experimental los animales permanecieron en corrales individuales (1.5 x 1.5 m) provistos de bebederos y comederos. Todas las cabras tuvieron 15 días de pre-adaptación al manejo y a la dieta, en este periodo se utilizó la dieta control para su alimentación. Posteriormente los animales tuvieron 15 días de adaptación a las dietas con o sin la adición de aceite. Finalizada la adaptación, se inició la fase de medición la cual tuvo

una duración de 12 semanas (84 días). Los animales fueron pesados con una báscula de barras al inicio y posteriormente cada semana, hasta el final del experimento.

Cuadro 3. Ingredientes de las dietas experimentales (g/100g MS)

INGREDIENTE	CTRL	SOYA6
Ensilado de maíz	30.00	29.00
Rastrojo de maíz	4.47	15.00
Maíz molido	42.00	22.19
Pasta de soya	4.00	5.00
Canola	17.53	20.81
Aceite de soya	-	6.00
Premezcla de Vit-Min [†]	2.00	2.00

[†]Minerales Multitec ®: Vit A, 100 UI; Vit D3, 30 UI; Vit E, 50 mg; Cu, 60 mg; Fe, 200 mg; Mg, 100.06 mg; Co, 11 mg; I, 60.14 mg; Zn, 4000.32 mg; Se, 50 mg; P, 69.999 g; Carbonato calcio, 219.316 g; Sal, 270 g; Sulfato amonio, 2.083 g; Aceite mineral, 10 g.

Con excepción del ensilado de maíz, los ingredientes fueron mezclados con una mezcladora horizontal. La dieta con aceite de soya se preparó diariamente para evitar problemas de rancidez. Treinta minutos antes de ofrecer el alimento a las cabras se les incluyó el ensilado de maíz fresco, para evitar la pérdida de su calidad nutricional.

La alimentación de los animales se realizó en dos momentos durante el día (09:00 y 16:00 h) proporcionando el alimento en comederos individuales y el agua de bebida todo el tiempo. Cada semana fueron muestreadas las dietas experimentales para su análisis en el laboratorio.

Diariamente se realizaron dos ordeños (08:30 y 15:30h) con ordeñadora mecánica (De Laval®). Una vez por semana se registró la producción de leche de manera individual y se tomó una muestra de leche al momento de cada ordeño. Con las muestras de leche, se

preparó una alícuota (50 mL) proporcional a la producción de leche de cada ordeño, la cual fue congelada (-20) para su posterior análisis.

El consumo voluntario se registró a lo largo de todo el experimento, el cual se determinó por el registro de la oferta y rechazo del alimento individualmente. Una muestra de alimento fue recolectada semanalmente al momento de ofertarla por la mañana y conservada a temperatura de congelación (-20°C) hasta su análisis en el laboratorio.

6.4. Análisis de laboratorio

En el alimento se determinó la materia seca por desecación de la muestra en estufa de aire forzado a 102°C por 24 h seguido del contenido de cenizas por incineración de la muestra en la mufla a 600°C por cuatro horas. Para el contenido de proteína total por el método de Kjeldhal, Para el contenido de extracto etéreo se determinó por el método Soxhlet acorde con AOAC (2012). En relación a las fracciones de la fibra, FND y FAD, según Van Soest (1991). Para la determinación de FND se añadió alfa amilasa En relación al aporte energético (Energía Neta de Lactancia) de la dieta se determinó por la ecuación descrita por Menke y Steingass (1988).

Para conocer el contenido de proteína, grasa y lactosa en la leche de las cabras se utilizó un analizador de leche (Lactoscan®, Milkalyzer), cada muestra se analizó por duplicado.

Para la determinación del perfil de ácidos grasos en alimento se utilizó la técnica descrita por Sukhija y Palmquist (1988) con modificaciones de Palmquist y Jenkins (2003) utilizando ácido clorhídrico metanólico al 10% en la esterificación de los ácidos grasos y hexano como solvente orgánico. Para el perfil de ácidos grasos de la leche, se realizó previa extracción de la grasa de acuerdo con la técnica descrita por Feng *et al.* (2004).

Para la metilación de la muestra se realizara de acuerdo a la metodología descrita por Christie (1982) con modificaciones de Chouinard *et al.* (1999). Los esteres metílicos de los ácidos grasos de la leche y de los alimentos fueron separados y cuantificados por cromatografía de gases con un cromatógrafo marca Perkin Elmer, modelo Claurus 500 con

una columna capilar de 100m x 0.25mm x 0.2 µm marca SUPELCO TM-2560, utilizando nitrógeno como gas acarreador. La temperatura del horno fue de 140 °C por 5 minutos y se elevó la temperatura hasta 240 °C con incrementos de 4 °C por minuto. El inyector y detector se mantuvieron a 260 °C. Cada pico fue identificado de acuerdo con los tiempos de retención de los estándares de esteres metílicos marca SUPELCO 37, FAME MIX analytical SIGMA USA.

6.5. Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar, utilizando el procedimiento Mixed del paquete estadístico SAS (1999), según el siguiente modelo:

$$Y_{ijk}: \mu + T_i + S_j + (TxS)_{ij} + E_{ijk}.$$

Dónde:

Y_{ijk} , es la variable respuesta

μ , la media general;

T_i , es el efecto del tratamiento (0 o 6.0% de aceite de soya);

S_j , es el efecto de la semana de muestreo;

E_{ijk} , es el error residual.

$(T*S)_{ij}$, es el efecto de la interacción de tratamiento con la semana.

Los efectos de la dieta y la semana fueron considerados como efectos fijos. La semana del experimento fue usada como una medición repetida con la cabra dentro del tratamiento de la dieta como el sujeto. Las medias de los tratamientos se compararon con la prueba de Tukey ($P < 0.05$) (Steel *et al.*, 1997).

VII. RESULTADOS

7.1. Respuesta productiva y perfil de ácidos grasos de la leche de cabras Saanen.

Resultados enviados como artículo de investigación a la revista Small Ruminant Research.

A manuscript number has been assigned: Rumin-D-16-7748

RESPONDER RESPONDER A TODOS REENVIAR

[ees.rumin.0.38e2d5.c2a177d](#) [marcar como leído](#)

mar 26/04/2016 6:29

Para: Ernesto Morales Almaraz;

Ms. No. Rumin-D-16-7748

PRODUCTIVE PERFORMANCE AND FATTY ACID PROFILE OF MILK FROM SAANEN GOATS FED SOYBEAN OIL

Dear Dr. MORALES-ALMARAZ,

Your manuscript has been assigned the following reference number: Rumin-D-16-7748

You will be able to check the progress of your paper by logging in as Author at <http://ees.elsevier.com/rumin/>

Please note that submission of an article is understood to imply that the article is original and is not being considered for publication elsewhere. Submission also implies that all authors have approved the paper for release and are in agreement with its content.

Thank you for submitting your manuscript to Small Ruminant Research.

Kind regards,

Small Ruminant Research

Elsevier Editorial System(tm) for Small

Ruminant Research

Manuscript Draft

Manuscript Number: Rumin-D-16-7748

Title: PRODUCTIVE PERFORMANCE AND FATTY ACID PROFILE OF MILK FROM SAANEN GOATS FED SOYBEAN OIL

Article Type: Research Paper

Keywords: Soybean oil, milk, vaccenic acid, rumenic acid, goats

Corresponding Author: Dr. ERNESTO MORALES-ALMARAZ, Dr

Corresponding Author's Institution: Universidad Autónoma del Estado de México

First Author: Luis A Mejía Uribe, MVZ

Order of Authors: Luis A Mejía Uribe, MVZ; Rodolfo Vieyra Alberto, M en C; Ignacio A Dominguez Vara, DR; Manuel González Ronquillo, DR; ERNESTO MORALES-ALMARAZ, DR

Abstract: To evaluate the effect of adding 6% soybean oil to the diet of goats on the production and lipid profile of milk, 10 multiparous Saanen goats were used (48 ± 6.5 kg live weight [LW], 2.3 ± 0.6 kg milk/d, 19 ± 5 d of milk production). The goats were fed for 12 wk with a mixed diet with (SOYA6) and without (CTRL) soybean oil. The consumption of dry matter (DM) was 12.5% higher ($P < 0.05$) in the goats fed SOYA6. No effects ($P > 0.05$) on LW (50.98 ± 6.26 kg), milk production (2.19 ± 0.399 kg/d), or the fat ($3.83 \pm 0.65\%$), protein ($2.99 \pm 0.12\%$), and lactose ($4.46 \pm 0.18\%$) contents in milk were noted. The vaccenic acid (VAC) contents in milk was higher at weeks 2, 6, and 9, whereas the rumenic acid (RA) contents was increased at weeks 2, 5, and 8 in goats fed SOYA6 ($P < 0.05$). Soybean oil decreased ($P < 0.05$) the saturated fatty acid (SFA) contents by 13.6% and increased ($P < 0.05$) the unsaturated fatty acid (UFA) contents by 35.6%. The inclusion of 6% soybean oil in the goats' diet decreased the atherogenic index of the milk (2.57 vs 1.38) and resulted in high stearic acid, oleic acid, linolenic acid, and VAC contents. No adverse effects on performance productivity were observed.

PRODUCTIVE PERFORMANCE AND FATTY ACID PROFILE OF MILK FROM SAANEN GOATS FED SOYBEAN OIL

Mejía Uribe Luis Alberto, Vieyra Alberto Rodolfo, Domínguez Vara Ignacio Arturo, González Ronquillo Manuel, Morales-Almaráz Ernesto*

Departamento de Nutrición Animal. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto Literario 100 Col. Centro C.P. 50000 Toluca, México.

*Corresponding author: emoralesa@uaemex.mx

SUMMARY

To evaluate the effect of adding 6% soybean oil to the diet of goats on the production and lipid profile of milk, 10 multiparous Saanen goats were used (48 ± 6.5 kg live weight [LW], 2.3 ± 0.6 kg milk/d, 19 ± 5 d of milk production). The goats were fed for 12 wk with a mixed diet with (SOYA6) and without (CTRL) soybean oil.

The consumption of dry matter (DM) was 12.5% higher ($P < 0.05$) in the goats fed SOYA6. No effects ($P > 0.05$) on LW (50.98 ± 6.26 kg), milk production (2.19 ± 0.399 kg/d), or the fat ($3.83 \pm 0.65\%$), protein ($2.99 \pm 0.12\%$), and lactose ($4.46 \pm 0.18\%$) contents in milk were noted. The vaccenic acid (VAC) contents in milk was higher at weeks 2, 6, and 9, whereas the rumenic acid (RA) contents was increased at weeks 2, 5, and 8 in goats fed SOYA6 ($P < 0.05$). Soybean oil decreased ($P < 0.05$) the saturated fatty acid (SFA) contents by 13.66% and increased ($P < 0.05$) the unsaturated fatty acid (UFA) contents by 35.69%. The inclusion of 6% soybean oil in the goats' diet decreased the atherogenic index of the milk (2.57 vs 1.38) and resulted in high stearic acid, oleic acid,

linolenic acid, and VAC contents. No adverse effects on performance productivity were observed.

Keywords: Soybean oil, milk, vaccenic acid, rumenic acid, goats

1. Introduction

The inclusion of oils or sources of lipid-rich unsaturated fatty acids (UFA) in the diet of goats and dairy cows can be an effective strategy to control the lipid profile of milk fat (Chilliard et al., 2007). Increasing the UFA contents positively affects human health (Parodi, 1999), and decreasing the saturated fatty acid (SFA) contents is also beneficial because these species are related to cardiovascular disease (Park, 2009).

Soybean oil supplementation may be important in intensive milk-production systems to enrich milk and its products with UFA, such as vaccenic acid (VAC, C18:1 *trans*11) and conjugated linoleic acid (CLA) (Bouattour et al., 2008). These fatty acids (FA) are beneficial to health and contribute to preventing atherosclerosis, cancer, and hypertension (Jandal, 1996).

Isomer C18:2 *cis*9 *trans*11 rumenic acid (RA) represents 90% of the total CLA in milk (Lourenco et al., 2010). In animal models, RA has been shown to have anticarcinogenic properties (Ip et al., 1994). Various factors related to the variation in the FA contents in milk have been investigated, mainly in dairy cows (Chilliard et al., 2001). Sanz-Sampelayo et al. (2007) reported that the types of forage and fats (oils, protected fats, or oilseeds) in diets may influence the lipid composition of milk fat (Sanz-Sampelayo et al., 2007). Moreover, unlike dairy cows, goats' milk tends to contain additional fat when fat sources are included in the diet (Chilliard et al., 2003).

Matsushita et al. (2007) compared three sources of oil (soybean, canola, and sunflower). Increased RA and reduced SFA were observed in the milk of goats fed diets supplemented with oils. Mele et al. (2008) reported increased milk production, fat content, and UFA concentrations, including RA. They concluded that the increases in RA and UFA depended on the oil source and the stage of lactation, observing that these increases mainly occurred during the first phase of lactation. Other authors (Almeida et al., 2013) observed decreased RA contents in goats' milk as the amount of soybean oil added to the diet increased.

Bouattour et al. (2008) added 6% (wet basis) soybean oil to the complementary feed concentrate combined with the grass hay and pelleted alfalfa. A 200% increase in the RA and VAC contents in milk of Murciano-Granadina goats was observed. Very few studies (Kouakou et al., 2009) have evaluated the inclusion of more than 5% (dry basis) soybean oil in goat diets, and none has investigated the effects of this level of supplementation on the VAC or RA contents in milk. Goats can tolerate 10 to 15% vegetable oils in their diets without showing the negative effects observed in dairy cows (Carmichael et al., 2003), but the nutritional quality of the fat in the milk produced by goats fed such diets remains unknown.

The objective of our research was to evaluate the production, composition, and profile of FA in the milk produced by Saanen goats in an intensive milk-production system fed a diet supplemented with 6% (dry basis) soybean oil, a rich source of UFA.

2. Materials and Methods

2.1. Animals and Diet

The Committee of Bioethics and Animal Welfare of the School of Veterinary Medicine and Animal Husbandry from the Autonomous University of the State of Mexico approved this study.

Ten Saanen goats were randomly assigned to one of two groups, with five goats allotted to each group with an average body weight (BW) of 48 ± 6.5 kg, milk production of 2.3 ± 0.6 kg/d, and lactating periods of 19 ± 5 d. The goats were housed in individual pens (1.5×1.5 m) with feeders and waterers.

The animals were fed a mixed diet formulated to meet their nutritional needs according to the National Research Council (NRC, 2007). Corn silage (27.9% DM) was used as a base. The control (CTRL) group's diet included no added soybean oil, and the experimental (SOYA6) group's diet contained 6.0% soybean oil (dry basis). Table 1 shows the chemical compositions (% dry matter [DM]) of the diets fed to both groups.

2.2. Experimental Procedure

The animals used in the experiment were first subjected to a 15-d pre-adaptation period to adjust to being handled, during which both groups were fed the control diet. This was followed by a second 15-d period of feed adaptation, during which the experimental diet was introduced. After the adjustment period, the experimental phase began and lasted 12 wk. The goats were weighed at the start of the experiment, every 8 d thereafter, and at the end of the experiment. Feeding was performed twice daily (09:00h and 16:00h). Machine milking (De Laval®) was also performed twice daily (08:30h and 15:30h).

During the 12-wk experiment, feed refusal and rejection of the diet were recorded to calculate feed intake. Daily milk production was measured for each animal. Samples of

both diets and each goat's milk were collected twice daily and kept for future laboratory analysis.

2.3. Laboratory Analysis

The DM, organic matter (OM), crude fat (CF), and crude protein (CP) were determined according to AOAC (2012) guidelines. Neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), and acid detergent lignin (ADL) were determined by the method of Van Soest et al. (1991).

The chemical compositions (protein, fat, and lactose) of the milk samples were determined using a milk analyzer (Lactoscan® S-L 60). The FA content in the diet was measured using the technique described by Sukhija and Palmquist (1988) as modified by Palmquist and Jenkins (2003). Methanolic hydrochloric acid (10%) was used for FA esterification, and hexane was used as the organic solvent.

The FA profile of milk was determined after fat extraction according to the technique described by Feng et al. (2004). The sample was then methylated as reported by Christie (1982), with modifications (Chouinard et al., 1999). The methyl esters of the FA from the milk and feed were separated and quantified by gas chromatography (Perkin Elmer Claurus 500) with a capillary column (100 m × 0.25 mm × 0.2 µm, Supelco TM-2560) using nitrogen as the carrier gas.

The initial oven temperature was 140°C, which was held for 5 min and then increased to 240°C at a rate of 4°C per min. The detector and injector were maintained at 260°C. Each peak was identified according to the retention times of FA methyl ester standards

(Supelco3, FAMEanalyticalMIX, *trans*11-octadecanoic methyl ester, CLA methyl ester, SIGMA, USA).

2.4. Statistical Analysis

The response variables (LW, feed intake, production, and milk composition) were analyzed using the MIXED procedure (SAS, 1999) with repeated measures. Tukey's test ($P < 0.05$) was performed for comparisons (Steel et al., 1997). The model was as follows: $Y_{ijk} = \mu + T_i + S_j + T*S + E_{ijk}$, where Y_{ijk} is the response variable, μ is the overall average, T_i is the effect of treatment (0 or 6.0% soybean oil), S_j is the effect of the sampling week, $T*S$ is the interaction effect, and E_{ijk} is the residual error.

3. Results

The chemical compositions and FA profiles of the experimental diets are presented in Table 2. The diets were isocaloric and isoproteic. Adding the soybean oil increased the dry matter intake by 12.5% ($P < 0.05$) compared to the control diet (Table 3). Soybean oil did not affect ($P > 0.05$) LW (50.98 ± 6.26 kg), milk production (2.19 ± 0.399 kg/d), or the fat ($3.83 \pm 0.65\%$), protein ($2.99 \pm 0.12\%$), and lactose ($4.46 \pm 0.18\%$) contents in milk.

The FA content in the milk of the Saanen goats was significantly altered ($P < 0.05$) by the addition of soybean oil, and significant differences were also observed between weeks ($P < 0.05$) (Table 4). This variability affected the stearic FA, VAC, and RA contents in the milk. The RA contents in the milk increased ($P < 0.05$) in the goats fed diets containing soybean oil at weeks 2, 5, and 8 (Figure 1). The VAC contents in the milk tripled ($P < 0.05$) with soybean oil supplementation (Table 4) and fluctuated throughout the study, with the highest contents noted in weeks 2, 6, and 9 (Figure 1).

The desaturation index was decreased ($P < 0.05$) by the addition of soybean oil to the diet, and a similar effect ($P < 0.05$) was observed in the VAC:RA ratio (Table 5).

4. Discussion

The addition of soybean oil increased the CF, linoleic acid, and linolenic acid contents by 91.2%, 27.6%, and 128%, respectively, compared to the control diet.

Lactating Saanen goats were fed a diet of alfalfa hay, corn silage, and concentrate. Previously, increased CMS compared to the control was achieved by adding safflower oil to the diet (Shi et al., 2015). In contrast, Almeida et al. (2013) provided 30-, 60-, and 90-g/d soybean oil orally to Saanen goats and found that CMS decreased as the soybean oil dose was increased.

The lack of any effect on milk production was also observed in Alpine goats fed diets supplemented with linseed oil, sunflower oil (Toral et al., 2014), and safflower oil (Shi et al., 2015), although it should be noted that the milk yields obtained in those studies were higher than those found here. Milk production is substantially dependent on the CMS, among other factors (NRC, 2001); however, in this study, soybean oil increased the CMS but not milk production. Supplementation with dietary fat generally improves the energy-use efficiency in the production of milk (Kouakou et al., 2009). Thus, when no response in milk production occurs, the excess energy may be deposited as fat reserves for later use as an energy source by oxidation (Demeyer and Doreau, 1999). In this study, the added oil did not change the LW, possibly because of the short experimental timeline (12 wk).

The FA profile of goat milk is influenced by multiple factors, including the dietary FA contents, the amount of FA consumed, and the FA-biohydrogenation process in the rumen

(Mele et al., 2008). Chilliard et al. (2014) noted that the addition of UFA to goat feed induced a major change in the gene expression of the enzyme $\Delta 9$ desaturase relative to the pattern observed in cows. This change was related to differences in the availability of biohydrogenation intermediaries in the mammary gland.

According to Chilliard et al. (2006), the levels of RA and VAC in milk from goats fed different diets are highly correlated. As the VAC concentration increases, the RA contents also increases because of biosynthesis by the $\Delta 9$ desaturase present in the mammary gland. Which it was not observed in this study. During biohydrogenation process, FA C18:2 *trans*10 *cis*12 can occur, which is the main inhibitor of $\Delta 9$ desaturase, and thus, VAC is directly transferred to the milk (Chilliard et al., 2007; Baumgard et al., 2001). As a result, RA decreases and C18:0 increases in milk (Chilliard et al., 2014.).

Biochemically, it is accepted that increasing C18:0 in milk may result from the complete biohydrogenation of oleic, linoleic, and linolenic FA in the rumen (Almeida et al, 2013; Buccioni et al, 2012) and that $\Delta 9$ desaturase in the mammary gland is inhibited by the isomer C18:2 *cis*9 *cis*12 (Baumgard et al, 2001), whose synthesis is favored by the microbial activity in the rumen. This phenomenon occurs in response to the high consumption of C18:2 *cis*9 *cis*12 acid (Harvatine et al., 2008).

The addition of soybean oil significantly affected ($P < 0.05$) the total FA contents in terms of the degree of saturation and the chain length (Table 5), decreasing the contents of short- and medium-chain FA and increasing that of long-chain FA. The effect of soybean oil on the chain length of the total FA is in good agreement with that reported by Bouattour et al. (2008), who found that adding 2.5% soybean oil to the diet of Grenadines-Murciano goats

decreased the short- and medium-chain FA by 11.78% and 21.15%, respectively. One explanation for this reduction may be that the high UFA concentration, which reduces the fermentation of plant cell walls and, thus, decreasing the substrate (acetate) available for *de novo* synthesis in the mammary gland, decreases the volatile FA contents in the rumen (Chilliard and Ferlay, 2004). Moreover, the possible inhibition of the enzyme activity responsible for *de novo* synthesis may be attributable to the high availability of long-chain FA in the udder resulting from their increased absorption in the small intestine (Bernard et al., 2005).

The addition of soybean oil reduced the SFA contents by 13.66% and increased the monounsaturated FA (MUFA) and UFA contents by 35.89% and 33.84%, respectively, in milk. According to Martinez et al. (2013), this effect can be enhanced by UFA-rich lipid supplementation, such as the soybean oil used here, which contained high linoleic acid contents (54% of the total FA contents) (Bouattour et al., 2008).

The reduction of short-chain FA and SFA in goat milk is considered to be a positive effect. Previously, supplementation with oil was found to decrease the contents of C12, C14, and C16 FA in milk (Almeida et al., 2013, Tsiplakou and Zervas, 2013), thereby decreasing these species accumulation as blood cholesterol and, thus, reducing the incidence of cardiovascular disease in humans (Williams, 2000). The atherogenic index is used as an indicator of the SFA contents in milk, and this value should be considered as a risk factor for heart disease in humans (Ulbricht and Southgate, 1991).

In this study, the addition of soybean oil to a goat diet reduced the atherogenic index of the resulting milk to 46.3% ($P < 0.05$). Regarding the desaturation index, $\Delta 9$ desaturase is the

enzyme responsible for the desaturation of SFA in the mammary gland and the synthesis of RA from VAC (Feng et al., 2007). The observed decrease in the atherogenic index supports the previously discussed hypothesis regarding the inhibition of desaturase by FA C18:2 *trans*10 *cis*12. This decrease also could be attributed to individual variations or the animals' ability to efficiently desaturate VAC in the mammary gland.

In cows' milk, two times the variation between individuals was observed in C18:2 *cis*9 *trans*11 when offered the oil-supplemented diet. This difference was maintained throughout the 12-wk study (Peterson et al., 2002).

Differences between individuals may reflect different feeding patterns and rumination processes, such as ruminal biohydrogenation associated with the accumulation of VAC and C18:2 *cis*9 *trans*11 in the rumen and the activity of Δ 9 desaturase in the mammary gland (Peterson et al., 2002), which should, in turn, be related to the regulation of gene expression.

5. Conclusions

The FA profile in milk of Saanen goats varied depending on the week of lactation and the addition of soybean oil to the diet.

Adding high levels of soybean oil to the diet of goats markedly increased the VAC contents in the resulting milk; however, no such effect was observed for RA, unlike other studies. Supplementing the goats' diet with soybean oil resulted in milk with a relatively unsaturated lipid profile and a lower atherogenic index, but no negative effects on productive performance or influence on the major components of the milk was noted.

Conflict of interest

There is no conflict of interest regarding this manuscript.

Acknowledgments

The authors thank the Autonomous University of the State of Mexico for financing this research project (3777/2014/CIC) and the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) for granting postgraduate scholarship to Luis A. Mejía Uribe, MVZ.

References

- Almeida, C.O., Pires, V.A., Susin I., Gentil, S.R., Mendes, Q.C., Queiroz, A.A.M., Ferreira, M.E. Eastridge, M.L., 2013. Milk fatty acids profile and arterial blood fat precursors concentration of dairy goats increasing doses of soybean oil. *Small Rumin. Res.* 114, 152-160.
- AOAC, 2012. Official methods of analysis Chemists Inc., 19th ed. Arlington, VA, USA.
- Bernard, L., Rouel, J. C., Leroux, A., Ferlay, Faulconnier, Y., Legrand, P., Chilliard, Y., 2005. Mammary lipid metabolism and milk fatty acid in secretion Alpine goats fed vegetable lipids. *J. Dairy. Sci.* 88, 1478-1489.
- Baumgard, L.H., Sangter, J.K., Bauman, D.E., 2001. Milk fat synthesis in dairy cows progressively reduced by increasing supplemental amounts of *trans-10*, *cis 12* conjugated linoleic acid (CLA). *J. Nutr.* 131, 1764-1769.
- Bouattour, M.A., Casals, R., Albanell, E., Such, X. Caja, G., 2008. Feeding soybean oil to dairy goats increases conjugated linoleic acid in milk. *J. Dairy Sci.* 91, 2399–2407.

- Buccioni, A., Decandia, M., Minieri, S., Molle, G., Cabiddu, A., 2012. Lipid metabolism in the rumen: New insights on lipolysis and biohydrogenation with an emphasis on the role of endogenous plant factors. *Anim. Feed Sci. Technol.* 174, 1-25.
- Carmichael, A. K., Kouakou, B., Gelaye, S., Kannan, G., Terrill, T.H., 2003. Performance, blood metabolites and visceral organ mass and composition in growing castrated dairy goats. *Abstracts of the Southern Section ASAS Meetings, Mobile AL.* 29 p.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., 2004. Dietary lipids and forages interaction on cow and goat milk fatty acid composition and sensory properties. *Reprod. Nutr. Dev.* 44, 467-492.
- Chilliard, Y., Toral, P.G., Shingfield, J.K., Rouel, J., Leroux, C., Bernard, L., 2014. Effects of diet and physiological factors on fat milk synthesis, milk fat composition and lipolysis in the goat: A short review. 2014. *Small Rumin. Res.* 122, 31-37.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Doreau, M., 2001. Effect of different types of forages and animal fat marine oils in cows diet on milk fat secretion and composition, especially conjugated linoleic acid (CLA) and polyunsaturated fatty acids. *Livest. Prod. Sci.* 70, 31-48.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Rouel, J., Lamberetti, G., 2003. A review of nutritional and physiological factors affecting goat milk lipid synthesis and lipolysis. *J. Dairy Sci.* 86, 1751-1770.
- Chilliard, Y., Glasser, F., Ferlay, A., Bernard, L., Rouel, J., Doreau, M., 2007. Diet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat. *Eur. J. Lipid. Sci. Technol.* 109, 828-855.

- Chilliard, Y., Rouel, J., Ferlay A., Bernard, L., Gaborit, P., Raynal-Ljutavac., Lauret, A., Leurox, C., 2006. Optimising goat milk and cheese fatty and composition. Ed. Wood-head Publishing Limited Cambridge. UK. 281-312 p.
- Chouinard, P.Y., Louise, C., Barbano, D.M., Metzger, L.E., Bauman, D.E., 1999. Conjugated linoleic acids alter milk fatty acid composition and inhibit milk fat secretion in dairy cows. *J. Nutr.* 129, 1579-1584
- Christie, W.W., 1982. A simple procedure for rapid transmethylation of glycerolipids and cholesterol esters. *J. Lipid Res.* 23, 1072-1075.
- Demeyer, D., Doreau D., 1999. Targets and procedures for altering ruminant meat and milk lipids. *Proc. Nutr. Soc.* 58, 593-607.
- Feng, S., Lock, A.L., Garnsworthy, P.C., 2004. Technical note: A rapid lipid separation method for determining fatty acid composition of milk. *J. Dairy Sci.* 87, 3785-3788.
- Feng, S., Salter, M.A., Parr, T., Garnsworthy, C.P., 2007. Extraction and quantitative analysis of Steroyl-Coenzyme A desaturase mRNA from dairy cow milk somatic cell. *J. Dairy Sci.* 90, 4128-4136.
- Havartine, K.J., Bosclair, Y.R., 2008. Recent advances in the regulation of milk fat synthesis. *Animal.* 3(1), 40-54.
- Ip, C., Chin, S.F., Thompson, H.J., 1994. Conjugated linoleic acid a powerful anticarcinogen from animal fat sources. *Cancer.* 74, 1050-1054.
- Jandal, J.M., 1996. Comparative aspects of goat and sheep milk. *Small Rumin. Res.* 22, 177-185.

- Kelsey, J. A., Corl, B. A., Collier, R. J., Bauman, D. E., 2003. The effect of breed, parity, and stage of lactation on conjugated linoleic acid (CLA) in milk fat from dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86: 2588-2597.
- Kouakou, B., Lee, J.H., Kannan, G., 2009. Effects of high soybean oil for goats in late lactation on intake, milk composition and fatty acid profile. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 11, 233-236.
- Laurenço, M., Ramos-Morales, E., Wallace, R.J., 2010. The role of microbes in rumen lipolysis and biohydrogenation and their manipulation. *Animal.* 4, 1008-1023.
- Martínez, M.A.L., Hernández, P.M., Pérez, A.L.M., Carrión, P.D., Gómez, C.G., Garzan, S.A.I., 2013. Efecto de los aceites y semillas en dietas para rumiantes sobre el perfil de ácidos grasos de la leche. *Revisión. Rev. Mex. Cienc. Pec.* 4(3), 319-338.
- Matsushita, M., Tazinafo, N.M., Padre, R.G., Oliveira, C.C., Souza, N.E., Visentainer, J.V., Macedo, F.A.F., Ribas, N.P., 2007. Fatty acid profile of milk from Saanen goats fed a diet enriched with three vegetable oils. *Small Rumin. Res.* 72, 127-132.
- Mele, M., Serra, A., Buccioni, A., Conte, G., Pollicardo, A., Secchiari, P., 2008. Effect of soybean oil supplementation on milk fatty acid composition from Saanen goats fed diets with different forage:concentrate rations. *Ital. J. Anim. Sci.* 7, 297-311.
- Menke, K.H., Steingass, H., 1988. Estimation of the energetic feed value from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Anim. Res. Dev.* 28, 7-55.
- NRC, 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*, The National Academy Press, Washington, DC, USA. pp. 381.

- NRC, 2007. Nutrient requirements of small ruminants. 7th ed, The National Academic Press, Washington, DC, USA. pp. 292.
- Palmquist, D.L., Jenkins, T.C., 2003. Challenges with fats and fatty acid methods. J. Anim. Sci. 81, 3250-3254.
- Park, Y., 2009. Conjugated linoleic acid (CLA): Good or bad *trans* fat?. J. Food Comp. Anal. 22, 6-12.
- Parodi, P.W., 1999. Conjugated linoleic acid and other anticarcinogenic agents of bovine milk fat. J. Dairy Sci. 82 (6), 1339-1349.
- Peterson, D.G., Kelsey, J.A., Bauman, D.E., 2002. Analysis of variation in cis9, trans11 conjugated linoleic acid (CLA) in milk fat of dairy cows. J. Dairy Sci. 85, 2164-2172.
- Pulina, G., Cannas, A., Serra, A., Vellebella, R., 1991. Determination and estimation of energy value in Sardinian goat milk. In Proc. 45th Congress Societa Italiana Scienze Veterinarie. Altavilla Milicia, Palermo, Italy. p. 1779-1781.
- Sanz-Sanpelayo, M.R., Chilliard, Y., Schmidely, Ph., Boza, J., 2007. Influence of type diet on the fat constituents of goat and sheep milk. Small Rumin. Res. 68, 42-63.
- Shi, H., Luo, J., Zhang, W., Sheng, H., 2015. Using safflower supplementation to improve the fatty acid profile in milk of dairy goat. Small Rumin. Res. 127, 68-73.
- SAS, 1999. User's Guide. Statistical analysis system Institute Inc. Cary, North Caroline, USA.
- Steel, R.G.D., Torrie, J.H., Dickey, D.A., 1997. Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. 3rd ed. McGraw-Hill Series in Probability and Statistics, USA. pp. 622.

- Sukhija, P.S., Palmquist, D.L., 1988. Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuffs and feces. *J. Agr. Food Chem.* 36, 1202-1206.
- Toral, G.P., Rouel, J., Bernard L., Chilliard, Y., 2014. Interaction between fish oil plant oils or starchy concentrates in the diet: Effects on dairy performance and milk fatty acid composition in goats. *Anim. Feed Sci. Technol.* 198, 67-82.
- Tsiplakou, E., Zervas, G., 2013. The effect of fish and soybean oil inclusion in goat diet on their milk and plasma fatty acid profile. *Livest. Sci.* 155, 236-243.
- Ulbricht, T.L.V., Southgate, D.A.T., 1991. Coronary heart disease: seven dietary factors. *Lancet.* 338, 985-992.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition, *J. Dairy Sci.* 74, 3583-3597.
- Williams, M.C., 2000. Dietary fatty acids and human health. *Ann. Zootech.* 49, 165-180.

Table 1. Ingredients constituting the control and experimental diets (g/100 g DM).

Ingredient	Diet	
	CTRL	SOYA6
Corn silage (%)	30.00	29.00
Corn stover (%)	4.47	15.00
Ground corn (%)	42.00	22.19
Soybean meal (%)	4.00	5.00
Canola meal (%)	17.53	20.81
Soybean oil (%)	-	6.00
Vit-Min [†] pre-mix (%)	2.00	2.00

[†]Minerales Multitec ®: Vit. A, 100 UI; Vit. D3, 30 UI; Vit. E, 50 mg; Cu, 60 mg; Fe, 200 mg; Mg, 100.06 mg; Co, 11 mg; I, 60.14 mg; Zn, 4000.32 mg; Se, 50 mg; P, 69 999.64 mg; calcium carbonate, 219.316 g; salt, 270 g; ammonium sulfate, 2.083 g; mineral oil, 10 g.

Table 2. Chemical compositions and FA profiles of the control and experimental diets.

Component	Diet	
	CTRL	SOYA6
DM (%)	48.9	57.56
Ash (%)	6.78	7.47
CP (%)	14.02	14.87
CF (%)	5.58	10.67
NDF (%)	29.85	35.41
ADF (%)	17.36	20.69
ADL (%)	1.44	2.28
EN _L (Mcal/Kg MS)♦	1.77	1.69
FA (g/100 g FA)		
C12	0.16	0.03
C13	0.14	0.03
C14	0.13	0.06
C16	16.75	11.91
C16:1	0.12	0.03
C18	2.08	2.63
C18:1	34.53	26.81
C18:2 <i>cis</i> 9 <i>cis</i> 12	40.79	52.07
C18:3 <i>cis</i> 9 <i>cis</i> 12 <i>cis</i> 15	2.33	5.31
Other	2.97	1.12

♦ Net energy for lactation estimated as follows: EN_L: (9.07-0.0097*FAD g/kg)/4.184

(Menke and Steingass, 1988)

Table 3. LW (kg), feed intake (kg/d), and milk production (kg/d), composition (g/kg), and yield (g/kg) of Saanen goats fed diets with and without soybean oil.

Variable	Diet		¹ SEM	<i>P</i> -value [§]		
	CTRL	SOYA6		Tx	W	Tx*W
LW	50.25	51.71	4.1800	0.7377	0.0001	0.9448
DM Intake	2.08	2.34	0.0962	0.0377	0.0001	0.1033
DMI, % LW	4.18	4.54	0.2361	0.1775	0.0003	0.1688
Milk production	2.22	2.14	0.2672	0.7849	0.4437	0.8021
FCM [†]	2.30	2.21	0.2999	0.7791	0.1430	0.6436
Fat	38.7	37.9	0.3919	0.8407	0.0001	0.2888
Protein	30.5	29.3	0.0691	0.1062	0.0580	0.0777
Lactose	45.5	43.6	0.1009	0.1035	0.1090	0.1167
Yield						
Fat	85.89	81.59	14.107	0.7710	0.0045	0.4642
Protein	67.84	62.84	8.515	0.5874	0.5358	0.5139
Lactose	101.09	93.84	12.593	0.5861	0.5009	0.5143

[†]Milk production (MP) corrected for fat: FCM=MP (g/d)*(0.6340 + 0.1046% fat) (Pulina et al., 1991)

¹SEM=standard error of the mean

[§] Tx=diet, W=week, Tx*W=interaction

Table 4. Fatty acids profile (g/100 g FA) of the milk of Saanen goats fed diets with and without soybean oil.

Fatty Acids	Diet		¹ SEM	<i>P</i> -value [§]		
	CTRL	SOYA6		Tx	W	Tx*W
C4	2.51	2.66	0.1376	0.2982	0.0130	0.1184
C6	2.89	2.08	0.1272	0.0007	0.0043	0.1184
C8	3.51	1.90	0.1359	0.0001	0.0016	0.0063
C10	10.95	5.85	0.4128	0.0001	0.0023	0.1243
C11	0.323	0.082	0.0252	0.0001	0.0005	0.0072
C12	5.03	2.10	0.4052	0.0004	0.0039	0.3081
C13	0.144	0.039	0.0217	0.0025	0.0137	0.0709
C14	10.53	6.74	0.3020	0.0001	0.0250	0.0058
C14:1	0.070	0.038	0.0073	0.0048	0.0025	0.4405
C15	0.989	0.475	0.0612	0.0002	0.0011	0.0048
C15:1	0.107	0.157	0.0138	0.0112	0.0567	0.0057
C16	24.07	20.67	0.5825	0.0011	0.0357	0.1626
C16:1	0.894	0.528	0.0351	0.0001	0.0025	0.4405
C17	0.630	0.303	0.0266	0.0001	0.0004	0.0635
C17:1	0.131	0.042	0.0098	0.0001	0.0042	0.0235
C18	9.84	18.28	1.0431	0.0002	0.0001	0.0027
C18:1 <i>cis</i> 9	21.88	27.20	0.4428	0.0001	0.0001	0.3562

Resultados						
C18:1 <i>trans</i> 11	1.94	6.01	0.2263	0.0001	0.0062	0.0197
C18:2 <i>cis</i> 9 <i>cis</i> 12	2.25	2.93	0.2144	0.0192	0.1585	0.2295
C18:2 <i>cis</i> 9 <i>trans</i> 11(RA)	0.683	0.928	0.1480	0.1489	0.0076	0.0284
C18:2 <i>trans</i> 9 <i>trans</i> 12	0.118	0.282	0.0149	0.0001	0.0105	0.5569
C18:3 <i>cis</i> 9 <i>cis</i> 12 <i>cis</i> 15	0.077	0.162	0.0131	0.0007	0.3297	0.1298
C20	0.150	0.203	0.0189	0.0310	0.0147	0.9232
C20:4	0.139	0.077	0.0103	0.0010	0.0524	0.8723
Others	0.114	0.158	0.0208	0.0801	0.3825	0.1843

¹SEM=standard error of the mean

[§] Tx=Diet, W=Week, Tx*W=Interaction

Table 5. Effects the addition of soybean oil to the diet of Saanen goats on the degree of saturation and chain length of the FA in the resulting milk (g/100 g FA).

Category	Diet		¹ SEM	<i>P</i> -value [§]		
	CTRL	SOYA6		Tx	W	Tx*W
SFA	72.31	62.43	0.6201	0.0001	0.0004	0.0282
MUFA	25.05	34.04	0.4687	0.0001	0.0001	0.0142
PUFA	2.63	3.52	0.2465	0.0113	0.1903	0.3252
Short-chain FA	19.86	12.50	0.6765	0.0001	0.0019	0.0590
Medium-chain FA	42.92	31.17	0.4764	0.0001	0.0150	0.0064
Long-chain FA	37.20	56.30	0.9030	0.0001	0.0006	0.0767
Atherogenic Index [†]	2.57	1.38	0.0566	0.0001	0.0333	0.1413
$\Delta 9$ desaturase [‡]						
C14	0.006	0.005	0.0009	0.5372	0.0806	0.2266
C16	0.035	0.025	0.0012	0.0002	0.0065	0.4890
C18	0.689	0.602	0.0164	0.0019	0.0001	0.0152
RA ²	0.263	0.145	0.0212	0.0015	0.0726	0.0479
VAC ³ :RA ratio	3.14	7.86	1.4334	0.0166	0.1306	0.0429

¹SEM=standard error of the mean.

[†] Calculated according to Ulbricht and Southgate (1991): (C12 + 4 * C14 + C16)/(total UFA)

[‡] Calculated for each pair of FA according to Kelsey et al. (2003): $\Delta 9$ desaturase product/($\Delta 9$ desaturase product + $\Delta 9$ desaturase substrate). For example, C14 = C14:1 / (C14:1 + C14)

² RA=rumenic acid (C18:2 *cis9 trans11*)

³ VAC=vaccenic acid (C18:1 *trans11*)

[§] Tx=Diet, W=Week, Tx*W=Interaction

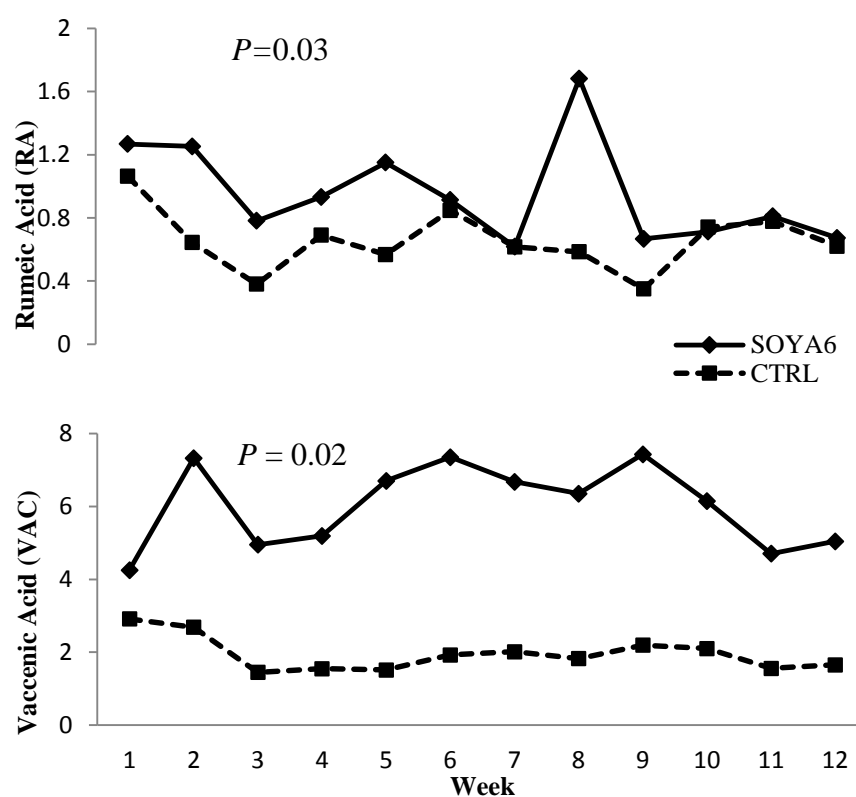


Figure 1. RA (C18:2 *cis9 trans11*) and VAC (C18: 1 *trans11*) contents in the milk of Saanen goats fed diets with (SOYA6) and without (CTRL) added soybean oil (g/100 g FA)

7.2. Efecto de la semana sobre el desempeño productivo, contenido de grasa en leche y contenido total de ácidos grasos en leche.

El peso corporal de las cabras aumentó con diferencias entre semanas ($P<0.05$) durante el experimento, iniciando este aumento a partir de la cuarta semana (Figura 6); el consumo de materia seca mostró diferencias ($P<0.05$; Figura 7) siendo en la séptima semana donde se presentó el mayor consumo de alimento.

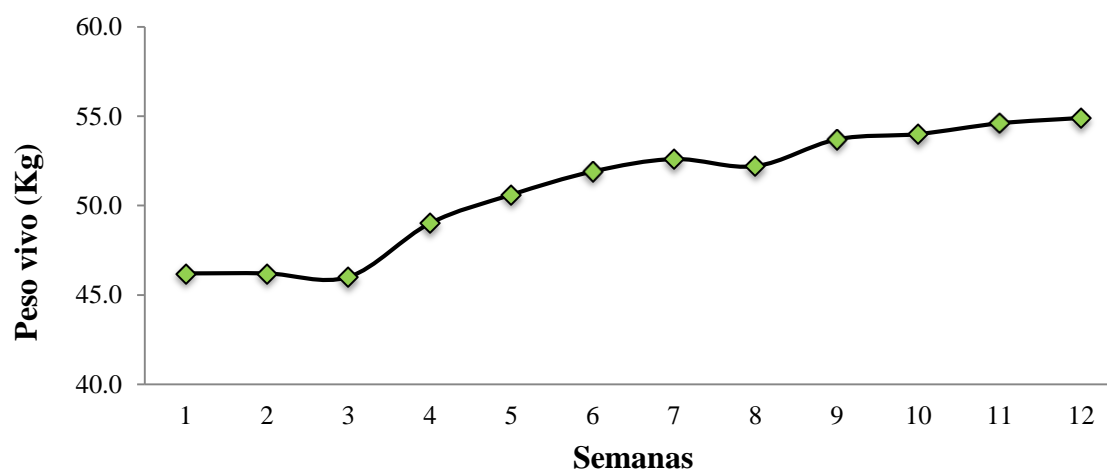


Figura 6. Efecto de la semana experimental sobre el peso vivo de cabras Saanen con aceite de soya en sistema intensivo.

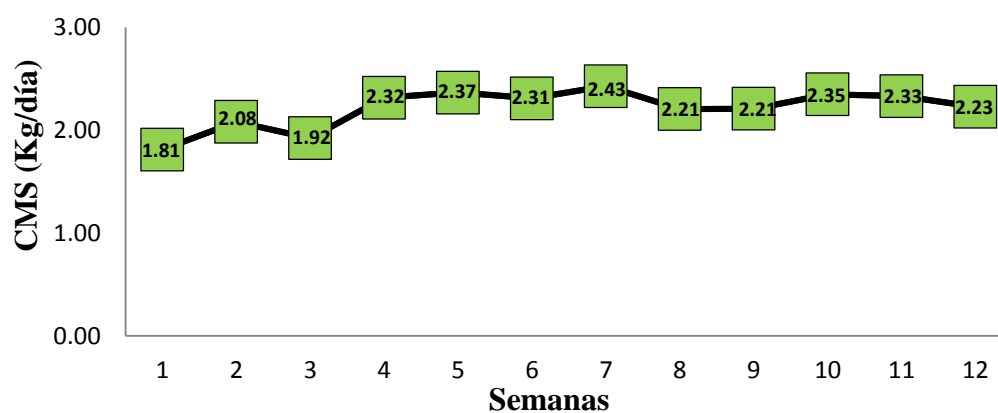


Figura 7. Efecto de la semana experimental sobre el consumo de materia seca (CMS) de cabras Saanen con aceite de soya en sistema intensivo.

Con relación al efecto de la semana experimental sobre el contenido de grasa en leche y su rendimiento se encontraron diferencias ($P<0.05$) a lo largo del periodo experimental. En la primer semana de estudio se observó el mayor contenido de grasa en leche, posteriormente disminuyó, alcanzando su nivel más bajo en la semana 4 (Figura 8. B). El rendimiento de grasa siguió un patrón similar al del contenido de grasa total en leche (Figura 8. A), después de la semana uno de estudio, el rendimiento de grasa disminuyó drásticamente 22% en la semana 2 y 27% en la semana 3. La disminución en el contenido de grasa en leche ha sido asociada con el incremento de la producción de leche indicando el efecto de dilución conforme se incrementan los días de lactancia (Mestawet *et al.*, 2012), tanto en cabras consumiendo TMR (Almeida *et al.*, 2011) o consumiendo concentrado separado del forraje (Morand-Fehr *et al.*, 2007).

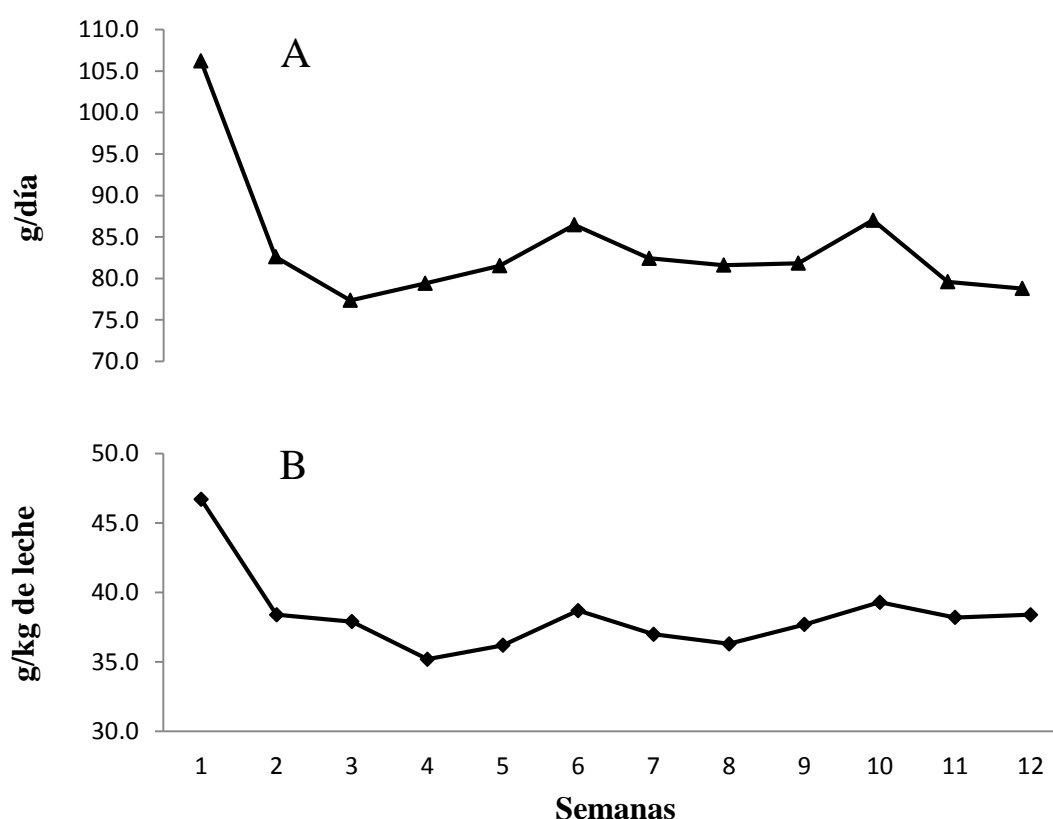


Figura 8. Efecto de la semana experimental sobre el rendimiento (A) y contenido de grasa (B) en la leche de cabras Sannen en sistema intensivo.

El contenido total de AG cadena corta (AGCC) en leche disminuyó en las semanas 9, 10 y 11 con un repunte en la semana 12 ($P<0.05$; Figura 9). Contrariamente, el contenido de AG de cadena larga (AGCL) mostró mayores variaciones en su nivel en el primer tercio y el final del tiempo experimental, siendo en las últimas semanas del estudio donde se observó la mayor cantidad de ácidos grasos en esta categoría ($P<0.05$; Figura 10).

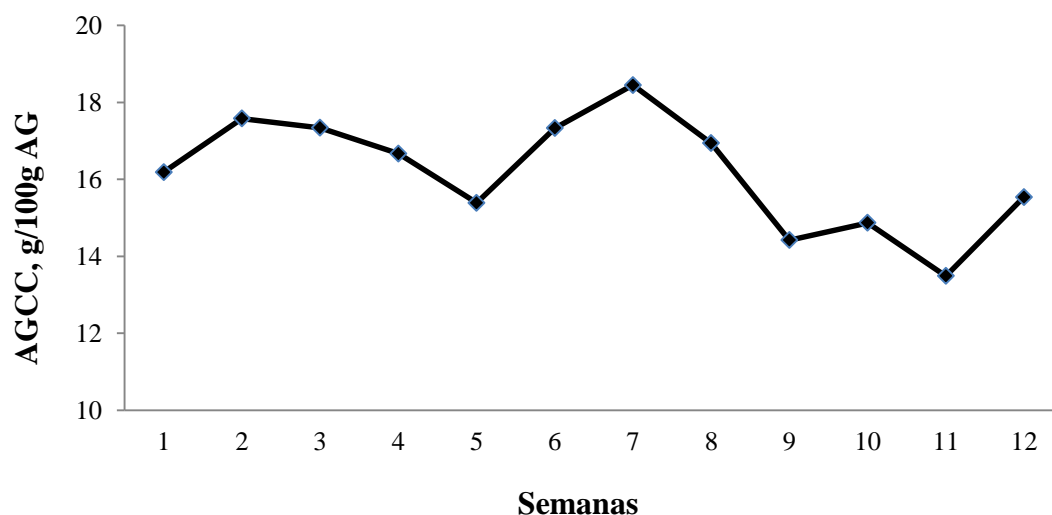


Figura 9. Efecto de la semana experimental sobre el contenido de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) en leche de cabras Saanen en sistema intensivo.

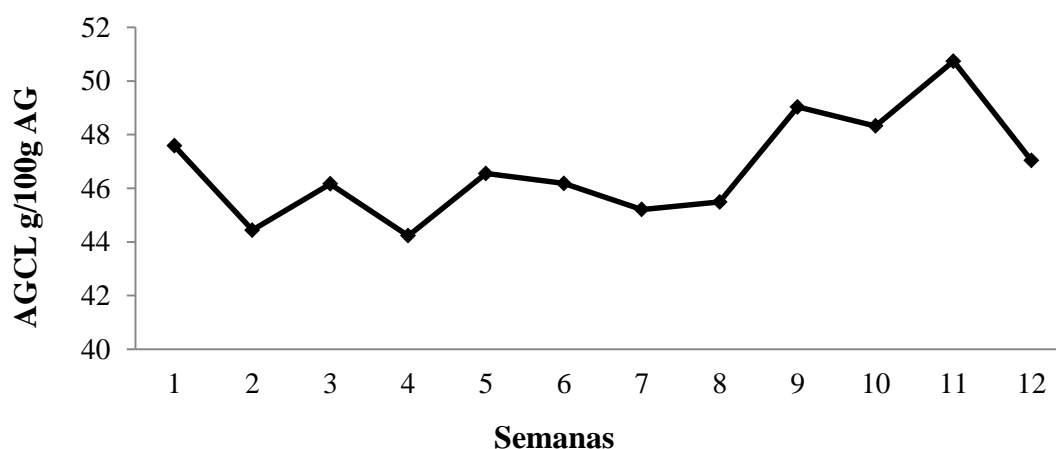


Figura 10. Efecto de la semana experimental sobre el contenido de ácidos grasos de cadena larga (AGCL) en leche de cabras Saanen en sistema intensivo.

7.3. Efecto de la interacción semana con aceite el contenido total de ácidos grasos de la leche.

El efecto de la interacción de la semana experimental con el tratamiento tuvo significancia ($P<0.05$) principalmente sobre el contenido total de ácidos grasos saturados (AGS), monoinsaturados (AGMI) y el total de AG de cadena media (AGCM) en leche.

El contenido AGS en la leche por efecto de la interacción semana con aceite disminuyó ($P<0.05$) a partir de la semana 5 en la dieta con aceite de soya, mientras que el mayor ($P<0.05$) contenido de esta categoría de AG fue en la semana 3 con el tratamiento control (Figura 11).

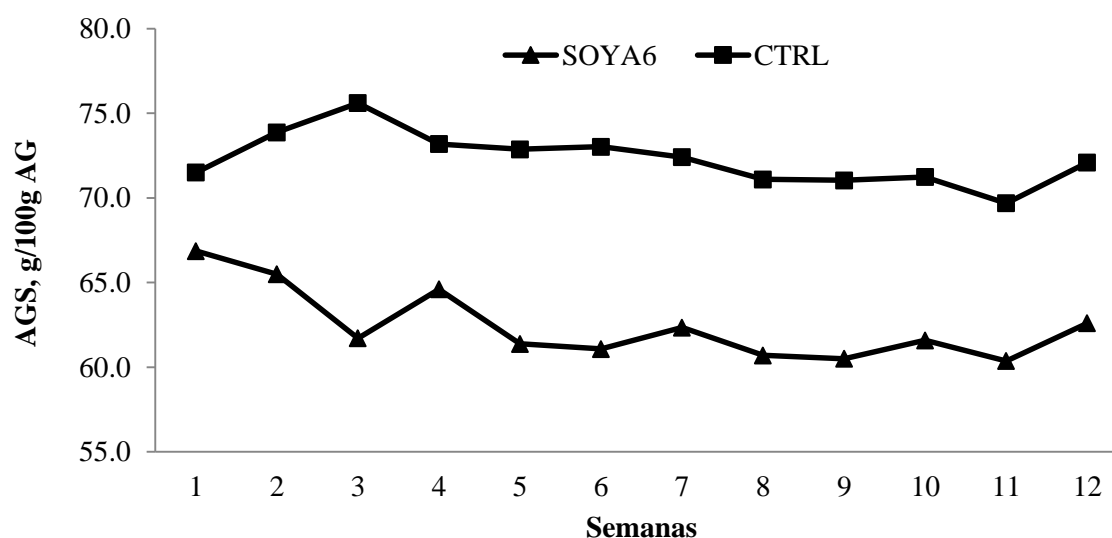


Figura 11. Efecto de la interacción de tratamiento con la semana experimental sobre el contenido ácidos grasos saturados (AGS) en leche de cabras Saanen en sistema intensivo.

El contenido más alto ($P<0.05$) de AGMI por efecto del tratamiento con la semana en la leche, se observó en la semana 11 en la dieta con aceite de soya, mientras que el menor contenido de esta categoría de ácidos grasos fue en la semana 3 con el tratamiento control (Figura 12).

El contenido de AGCM en la leche por efecto del tratamiento con la semana mostró su mayor nivel en la semana 4 y 5 en el tratamiento control, mientras que su contenido más bajo lo fue con el tratamiento de aceite de soya en la semana 7 (Figura 13).

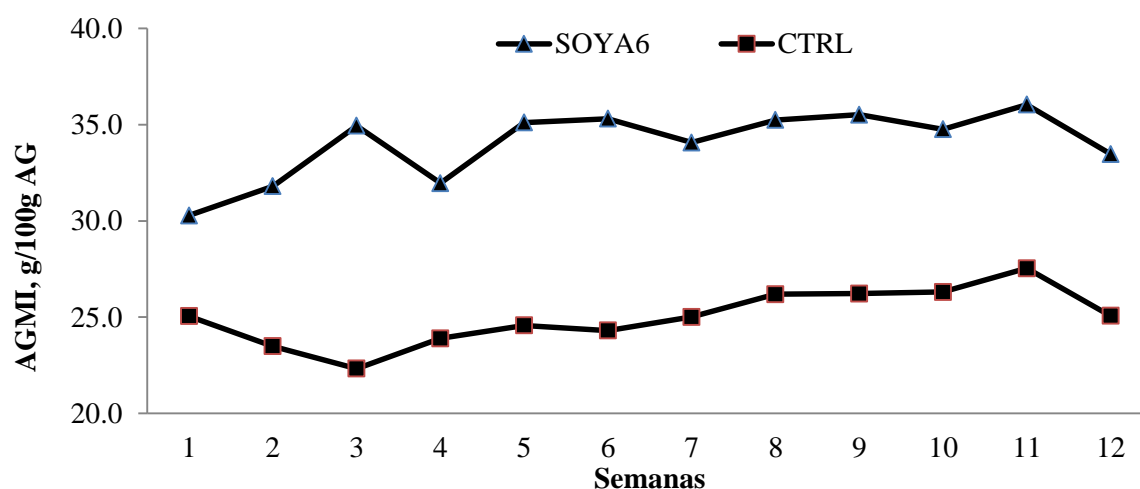


Figura 12. Efecto de la interacción de tratamiento con la semana experimental sobre el contenido ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) en leche de cabras Saanen en sistema intensivo.

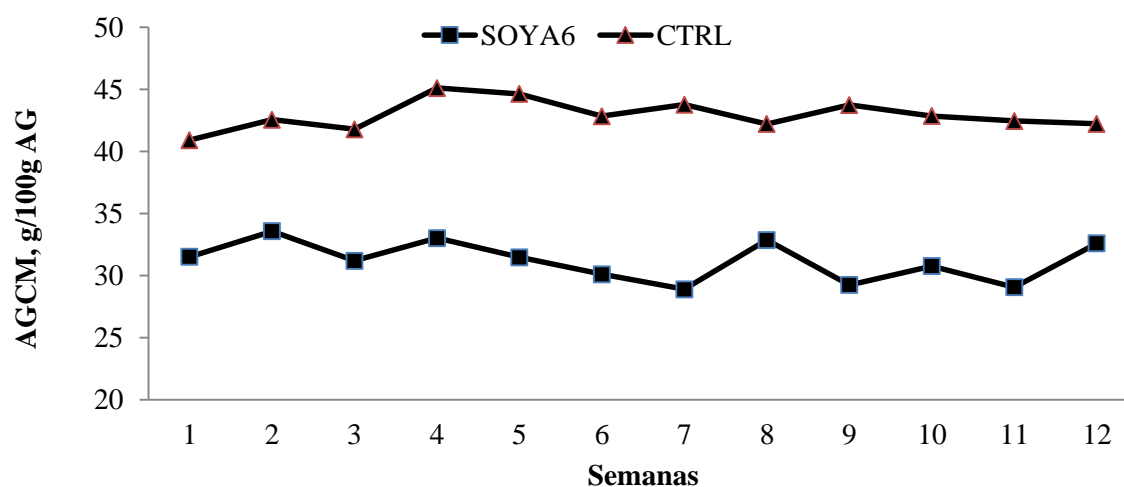


Figura 13. Efecto de la interacción de tratamiento con la semana experimental sobre el contenido ácidos grasos de cadena media (AGCM) en leche de cabras Saanen en sistema intensivo.

La suplementación con aceite de soya a cabras en lactación tiene como objetivos aumentar la densidad energética de la dieta (Kouakou *et al.*, 2009) y aportar una fuente rica de ácidos grasos poliinsaturados, principalmente de ácido linoleico (Martínez *et al.*, 2013) con la finalidad de mejorar la calidad nutritiva de la grasa de la leche y que sea un alimento funcional; que posea propiedades adicionales y por ende superen el beneficio clásico de un aporte de nutrientes, con beneficios sobre la salud de los consumidores (Gagliostro *et al.*, 2006).

En algunos países desarrollados, como Francia, Italia, España y Grecia, el interés por la producción de leche de cabra es relevante por su importancia económica basada en el incremento de la demanda productos derivados de la leche de ovejas y cabras, como quesos y yogurt (Park *et al.*, 2007; Kondyli *et al.*, 2012). Además, existe gran interés en el valor añadido de estos productos y de aquellos enriquecidos con ácidos grasos poliinsaturados o componentes funcionales como el CLA (Bouattour *et al.*, 2008).

El efecto de la semana de lactación sobre el perfil lipídico de la leche está poco documentado. Nuestros resultados del efecto de la semana experimental con la adición de aceite de soya deben ser tomados con cautela, dado que para las variables donde se observó este efecto, básicamente en el contenido total de los AGS, AGMI y AGCM, la respuesta no está clara. Así lo muestran la Figuras 10, 11 y 12, en las que no se aprecia tal interacción de los factores, esto podría ser atribuido, por un lado, a la frecuencia del muestreo para el análisis de AG, uno por semana, y por otro lado, al bajo número de animales utilizados en esta investigación. No obstante, los resultados de la interacción permiten observar que el contenido total de AGS y de AGCM, principalmente C12:0, C14:0 y C16:0, fue más abundante en la leche de cabras que no recibieron aceite de soya en la dieta, opuesto a lo observado en el contenido total de AGMI en la leche, fundamentalmente de los ácidos oleico y vaccénico, mayores con la suplementación de aceite de soya en la dieta de las cabras.

VIII. DISCUSIÓN GENERAL

Los suplementos de grasa en la dieta generalmente mejoran la eficiencia de la utilización de la energía en animales productores de leche, sin la pérdida de calor asociada con la conversión de carbohidratos a ácidos grasos durante la lactación (Kouakou *et al.*, 2009). En la mayoría de las investigaciones realizadas en bovinos lecheros (Chilliard *et al.*, 2003) niveles altos (más de 3%) de aceites en la dieta disminuyen la digestión de la fibra lo cual se refleja en la disminución del CMS. Las cabras pueden resistir niveles altos de suplementación de aceites, al parecer sin sufrir efectos negativos como los presentados en los bovinos lecheros (Chilliard *et al.*, 2003). Además, la especie caprina en su comportamiento alimenticio es selectiva frente a los componentes de la dieta (Jimeno *et al.*, 2003). Con relación a las condiciones de la presente investigación, se considera que la selectividad de la dieta por parte de las cabras no fue el factor primordial que explica las diferencias en el CMS, debido a que la presentación de la dieta en forma de una ración completa mezclada (TMR), tiene, entre otros, el fin de disminuir o evitar esa selectividad (NRC, 2001).

Otros estudios no reportaron diferencias en la producción de leche de cabras cuando adicionaron a la dieta aceite de linaza, aceite de girasol (Toral *et al.*, 2014) o aceite de cártamo (Shi *et al.*, 2015) comparado con animales alimentados sin la adición de lípidos en la dieta, aunque cabe señalar que sus rendimientos fueron superiores a los obtenidos en la presente investigación.

La producción de leche es dependiente del consumo de materia seca (NRC, 2001), se esperaría un aumento de esta en el tratamiento SOYA6 dado su mayor ingestión de alimento; los suplementos de grasa en la dieta generalmente mejoran la eficiencia de utilización de la energía para la producción de leche (Kouakou *et al.*, 2009). Sin embargo, la adición de soya en la dieta de las cabras no repercutió en la producción de leche, es posible que su utilización haya sido dirigida hacia la deposición de tejido como grasa de reserva o integrantes de membranas celulares o como fuente de energía por oxidación (Demeyer y Doreau, 1999).

Respecto a la composición química de la leche, nuestros resultados difieren de Bouattour *et al.* (2008) al adicionar 2.5% de aceite de soya en la dieta de cabras Murciano-Granadinas reporta lo opuesto a esta investigación, donde hay un aumento en la cantidad de grasa en la leche (4.57% control vs 5.24% aceite de soya) como una consecuencia de la suplementación de aceite, sin embargo, no encuentran efecto en el contenido de proteína en la leche. Otros autores han reportado que el rendimiento de grasa se incrementa con la suplementación de aceite de plantas y de pescado (Palmquist y Griinari, 2006; Mele *et al.*, 2008). Por otro lado, la disminución en el contenido de grasa en leche ha sido asociada con el incremento de la producción de leche indicando el efecto de dilución conforme se incrementan los días de lactancia (Mestawet *et al.*, 2012), tanto en cabras consumiendo TMR (Almeida *et al.*, 2013) o consumiendo concentrado separado del forraje (Morand-Fehr *et al.*, 2006).

Con relación al contenido de AG en la leche va a depender de la ruta de biohidrogenación del ácido linoleico que prevalezca en el rumen y por lo tanto la producción de isómeros del CLA (C18:2 *cis*⁹ *trans*¹¹), lo cual depende de diversos factores; principalmente la dieta, tales como la relación forraje: concentrado (Mele *et al.*, 2008), la fuente de AG poliinsaturados (Sanz-Sampelayo *et al.*, 2007) y el pH ruminal (Van-Nevel y Demeyer, 1996). Estos factores tendrán gran relevancia en la cantidad y calidad de los AG presentes en la leche de las cabras.

Chilliard *et al.* (2006) mencionan que existe una amplia correlación entre los niveles de ácido ruménico y el ácido vaccénico en leche bajo cierta variedad de dietas en cabras; al encontrar elevadas cantidades de vaccénico se incrementan las cantidades de ruménico, producto de su biosíntesis por la $\Delta 9$ desaturaza en la glándula mamaria. Dicho efecto no ocurrió en esta investigación probablemente por la gran cantidad de ácido linoleico proveniente del aceite de soya provocando su isomerización e incompleta biohidrogenación ruminal (Buccioni *et al.*, 2012), liberando VAC a la glándula mamaria, pudiéndose presentar la acción del AG C18:2 *trans* 10 *cis* 12 que es el principal inhibidor de la $\Delta 9$ desaturaza (Chilliard *et al.*, 2007; Baumgard *et al.*, 2001), lo que pudo provocar el pasaje

directo de VAC a leche y en consecuencia una disminución de ruménico y un aumento de C18:0 en la leche (Chilliard *et al.*, 2014).

La mayoría de los AG originados desde la glándula mamaria, por la síntesis *de novo*, son ácidos grasos saturados (C10 a C16) y los ácidos grasos de cadena larga (AGCL) inhiben marcadamente la síntesis *de novo* (Chilliard *et al.*, 2003). Este efecto es mayor cuando los AGCL son insaturados. El aceite de soya contiene alrededor del 84% de ácidos grasos insaturados de cadena larga (>C18) del total de AG (Bouattour *et al.*, 2008). La reducción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) y AGS en la leche de cabras es vista como un efecto positivo, y se ha observado que con la suplementación de aceites de plantas, se disminuye en leche la concentración de los AG C12:0, C14:0 y C16:0 (Almeida *et al.*, 2013; Tziplakou y Zervas, 2013), evitando la deposición en forma de colesterol en sangre y por ende una reducción de la incidencia de enfermedades cardiovasculares en humanos (Williams, 2000).

El índice de aterogenicidad es considerado como un indicador del contenido de AGS contenidos en la leche, y es un valor para considerar el factor de riesgo de enfermedades cardiacas en humanos (Ulbricht y Southgate, 1991). La adición de aceite de soya en la dieta de cabras lo redujo 46.3%.

La enzima $\Delta 9$ desaturaza es responsable de la desaturación de los AGS en glándula mamaria, además de la síntesis de ácido ruménico a partir de VAC (Feng *et al.*, 2007). Las diferencias entre individuos reflejan las diferencias individuales del modelo de alimentación y rumia, lo cual incluiría diferencias relacionadas a la BH ruminal, asociado a la acumulación de VAC y C18:2 *cis9 trans11* en rumen, y a la actividad de la $\Delta 9$ desaturaza en la glándula mamaria (Peterson *et al.*, 2002), lo que explica la regulación de la expresión génica.

IX. CONCLUSIONES GENERALES

La adición de 6% de aceite de soya en la dieta de cabras Saanen lactantes, incrementa el consumo de alimento y el peso vivo, sin afectar la producción de leche y contenido de grasa, proteína y lactosa de la leche.

Un contenido abundante de AG insaturados de cadena larga, principalmente de ácido esteárico, oleico, vaccénico y linolénico, en la grasa de la leche contribuyó a la mejoría del perfil lipídico por influencia de la adición de aceite de soya.

No hubo un efecto claro y directo del aceite de soya sobre el contenido de ácido ruménico en leche como ha sido reportado en otros estudios.

La suplementación de aceite de soya puede ser una herramienta para la alimentación de cabras lecheras bajo sistemas de alimentación intensiva y producir alimentos enriquecidos con AG poliinsaturados, ácido vaccénico, que son considerados benéficos para la salud de los consumidores.

X. LITERATURA CITADA

- Almeida, C. O., Pires, V. A., Susin, I., Gentil, S. R., Mendes, Q. C., Queiroz, A. A. M., Ferreira, M. E. y Eastridge, M. L. 2013. Milk fatty acids profile and arterial blood fat precursors concentration of dairy goats increasing doses of soybean oil. *Small. Rum. Res.* 114: 152-160.
- Arbiza, A. I. S., De Lucas, T. J. 2001. La leche caprina y su producción. Editores Mexicanos Unidos S. A. Ed. 1ra. 43-69. México.
- Arechiga, C. F., Aguilera, J. C., Rincón, R. M., Méndez de Lara, S., Buñuelos, V. R., Meza-Herrera, C. A. 2008. Rol and perspectives of goat production in a global world. A review. *Trop. and Subtrop. Agro.* 9: 1-14.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. 2012. Official methods of analysis. 19th ed. AOAC, Arlington, VA, USA.
- Azain, M. J. 2003. Conjugated linoleic acid and its effects on animal products and health in single-stomached animals. *Proc. Nutr. Soc.* 62: 319-328.
- Baldin, M., Dresch, R., Souza, J., Fernandes, D., Gama, S. A. M., Harvatine, J. K., Oliveira, E. D. 2014. CLA induced milk fat depression reduced dry matter intake and improved energy balance in dairy goats. *Small Rumin. Res.* 116: 44-50.
- Bauman, D. E. y Griinari, J. M. 2001. Regulation and nutritional manipulation of milk fat low-fat milk syndrome. *Livest. Prod. Sci.* 70: 15-29.
- Bauman, D. E., Barbano, D. M., Dwyer, D. A., Griinari, J. M. 2000. Technical note: Production on buffer whit enhanced conjugated linoleic acid for use biomedical studies with animal models. *J. Dairy Sci.* 83: 2422-2425.
- Bauman, D. E., Corl B. A., Baumgard, L. H., Griinari, J. M. 2001. Conjugated linoleic acid (CLA) and dietary cows. In: Recent advances in animal nutrition. Garnsworthy PC. Wiseman J. (Eds). Nottingham Unirversity Press. Nottingham, UK.
- Bauman, E. D., Baumgard, H. L., Corl, A. B., Griinari, M. J. 1999. Biosynthesis og conjugated linoleic acid in ruminants. *J. An. Sc.* 77: 1-15.
- Baumgard, L. H., Matitashvili, E., Corl, B. A., Dwyer, D. A., Bauman, D. E. 2002. *Trans*-10, *cis*-12 conjugated linoleic acid decreases lipogenic rates and espression of genes involved in milk lipid synthesis in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85: 2125-2163.
- Baumgard, L. H., Sangter, J. K., Bauman, D. E. 2001. Milk fat synthesis in dairy cows progressively reduced by increasing supplemental amounts of *trans*-10, *cis*-12 conjugated linoleic acid (CLA). *J. Nutr.* 131: 1764-1769.
- Bean, T. M., Jenkins, T. C., Moate, P. J., Kohn, R. A., Palmquist, D. L. 2000. Effects of amount and source of fat on the rate lipolysis and biohydrogenation of fatty acids in ruminal contents. *J. Dairy. Sci.* 83: 2564-2573.

- Bernard, L., Rouel, J. C., Leroux, A., Ferlay, A., Faulconnier, Y., Legrand, P., Chilliard, Y. 2005. Mammary lipid metabolism and milk fatty acid in secretion Alpine goats fed vegetable lipids. *J. Dairy. Sci.* 88: 1478-1489.
- Bouattour, M. A., Casals, R., Albanell, E., Such, X., Caja, G. 2008. Feeding soybean oil to dairy goats increases conjugated linoleic acid in milk. *J. Dairy Sci.* 91: 2399-2407.
- Buccioni, A., Decandia, M., Minieri, S. Molle, G. Cabiddu, A. 2012. Lipid metabolism in the rumen: new insights in lipolysis and biohydrogenation with emphasis on the role of endogenous plant factors. *J. Anim. Feed. Sci.* 174: 1-25.
- Carmichael, A. K., Kouakou, B., Gelaye, S., Kannan, G., Terrill, T. H. 2003. Performance, blood metabolites and visceral organ mass and composition in growing castrated dairy goats. Abstracts of the Southern Section ASAS Meetings, Mobile AL. 29 p.
- Ceballos, S. L., Ramos, M. E., Adarve, T. G., Díaz, C. J., Pérez, M. L., Sanz, S. M. R. 2009. Composition of goat and cow milk produced under similar condition and analyzed by identical methodology. *J. Food Comp. and Analysis.* 22:322-329.
- Chalupa, W. y Kutches, A. J. 1968. Biohydrogenation of linoleic-1-14C acid by rumen protozoa. *J. Dairy Sci.* 27: 1502-1508.
- Chen, S., Bobe, G., Zimmerman, S., Hammond, E. G., Luhman, C. M., Boylston, T. D., Freeman, A. E., Beitz, D. C. 2004. Physic and sensory properties of dairy products from cows with various milk fatty acids compositions. *J. Agric. Food. Chem.* 52: 3422-3428.
- Chilliard, Y., Toral, P. G., Shingfield, J. K., Rouel, J., Leroux, C., Bernard, L. 2014. Effects of diet and physiological factors on fat milk synthesis, milk fat composition and lipolysis in the goat: A short review. *Small. Rum. Res.* 122: 31-37.
- Chilliard, Y. y Ferlay, A. 2004. Dietary lipids and forages interaction on cow and goat milk fatty and composition and sensory properties. *Reprod. Nutr. Dev.* 44: 467-492.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Doreau, M. 2001a. Effect of different types of forages animal fat marine oils in cows diet on milk fat secretion and composition, especially conjugated linoleic acid (CLA) and polyunsaturated fatty acids. *Livest. Prod. Sci.* 70:31-48.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Doreau, M. 2001b. Contrôle de la qualité nutritionnelle des laitiers grasses du lait par l'alimentation des vaches laitières: acides gras trans, polyinsaturés, acide linoléique conjugué. *INRA Prod. Anim.* 14: 323-335.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Mansbridge, R. M., Doreau, M. 2000. Ruminant milk fat plasticity: nutritional control of saturated, polyunsaturated trans and conjugated fatty acids. *Ann. Zootech.* 49: 181-200.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Rouel, J., Lamberet, G. 2003. A Review of nutritional and physiological factors affecting goat milk lipid synthesis and lipolysis. *J. Dairy. Sci.* 86: 1751-1770.

- Chilliard, Y., Glasser, F., Ferlay, A., Bernard, L., Rouel, J. y Doreau, M. 2007. Diet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat. *Eur. J. Lipid. Sci. Technol.* 109: 828-855.
- Chilliard, Y., Rouel, J., Ferlay, A., Bernard, L., Gaborit, P., Raynal-Ljutavac., Lauret, A., Leurox, C. 2006. Optimising goat milk and cheese fatty and composition. Ed. Wood-head Publishing Limited Cambridge. UK. 281-312 p.
- Chouinard, P. Y., Louise, C., Barbano, D. M., Metzger, L. E., Bauman, D. E. 1999. Conjugated linoleic acids alter milk fatty acid composition and inhibit milk fat secretion in dairy cows. *J. Nutrition* 129: 1579-1584
- Christie, W. W. 1982. A simple procedure for rapid transmethylolation of glycerolipids and cholesterol esters. *J. Lipid Res.* 23: 1072-1075.
- Chun-Lei, Z., Xue-Yuan, G., Ru-Ying, S., Yang-Hong, W., Xing-Tang, F., Houg, C. 2010. Stearoyl-CoA Desaturase (SCD) gene polymorphism in goat breed. *Biochem. Genet.* 48: 822-828.
- Cunningham, G. J. 1999. Fisiología veterinaria. Mc-Graw Hill Interamericana. Ed. Segunda. 555- 557. México.
- Davis, C. L. y Brown, R. E. 1970. Cow-fat milk syndrome. En: *Physiology of digestion and metabolism in the ruminant*. AT Phillipson (Ed) Oriel Press. Newcastle upon Tyne, UK. 545-565.
- Demment, M. W. y Allen, L. H. 2004. Animal source foods to improve micronutrient nutrition and human function in developing countries. *J. Nutr.* 133 (suppl): 11-SII.
- Demeyer, D., Doreau D., 1999. Targets and procedures for altering ruminant meat and milk lipids. *Proc. Nutr. Soc.* 58, 593-607.
- Dhiman, T. R., Satter, L. D., Pariza, M. W., Galli, M. P.; Albright, K., Tolosa, M. X. 2000. Conjugated linoleic acid (CLA) content of milk from cows offered diets rich in linoleic and linolenic acid. *J. Dairy Sci.* 83:1016-1027.
- Doreau, M. y Ferlay, A. 1994. Digestion and utilization of fatty acids by ruminants. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 45: 379-396.
- Doreau, M., Chilliard, Y., Rulquin, H., Demeyer, D. I. 1999. Manipulation of milk fat in dairy cows. En: *Recent advances in animal nutrition* PC. Garnsworthy J. Wiseman (Eds). Nottingham Press, Nottingham, UK. 81-109.
- FAOSTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2014. Dirección de Estadística. [En línea]. Disponible en www.faostat3.fao.org/home/s. (Revisado el 20 de diciembre de 2014).
- Fellner, V., Saver F. D., Kramer, J. K. G. 1995. Steady-state rates of linoleic acid biohydrogenation by ruminal bacteria in continuous culture. *J. Dairy Sci.* 78: 1815-1823.
- Feng, S., Lock, A.L., Garnsworthy, P.C. 2004. Technical note: A rapid lipid separation method for determining fatty acid composition of milk. *J. Dairy Sc.* 87: 3785-3788.

- Feng, S., Salter, M. A., Parr, T., Garnsworthy, C. P. 2007. Extraction and quantitative analysis of Steroyl-Coenzyme A desaturase mRNA from dairy cow milk somatic cell. *J. Dairy Sci.* 90: 4128-4136.
- Fonty, G. y Grenet, E. 1994. Effects on diet on fungal population of the digestive tract of ruminants. En: *Anaerobic Fungi: Biology, Ecology and Function*. DO Mountfort. CG Orpin (Eds). New York: Marcel Dekker. pp. 229-239.
- Gerson, T., John, A., King, A. S. D. 1985. The effect of dietary starch and fiber on the *in vitro* rates of lipolysis and biohydrogenation by sheep rumen digesta. *J. Agric. Sci. (Camb)*. 106: 445.
- Glagliostro, G. A., Rodríguez, A., Pellegrini, A., Gatti, P. A., Muset, P., Castañeda, R. A., Colombo, D., Chilliard, Y. 2006. Efectos del suministro de pescado solo o en combinación con aceite de girasol sobre la concentración de ácido linoleico conjugado (CLA) y omega 3 (n-3) en la leche de cabra. *Rev. Arg. Prod. An.* 26: 71-87.
- Griinari, J. M. y Bauman, D. E. 2006. Milk fat depression: concepts, mechanisms and management. En: *Ruminant physiology-digestion metabolism and impact of nutrition on gene expression immunology and stress*. Sejrsen K. Hvelplund T. Nielsen MO. (Eds) Wageningen Acad. Publ. (NL). pp 389-417.
- Griinari, J. M., Bauman, D. E., Jones, L. R. 1995. Low milk fat in New York Holstein herds. En: *Proceedings off Cornell Nutrition Conference*. pp. 96-105.
- Griinari, J. M., Dwyer, D. A., McGuire, M. A., Bauman, D. E., Palmquist, D. L., Nurmela, K. V. V. 1998. Trans-octadecanoic acids and milk fat depression in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81: 1251-1261.
- Ha, Y. L., Storkson, J. S., Pariza, M. W. 1990. Inhibition of venzo (a) pyrene induced mouse forestomach neoplasia by conjugated dienoic derivatives of linoleic acid. *Cancer. Res.* 50: 1097-1101.
- Haenlein, G. F. W. 2004. Goat milk in human nutrition. *Small Rumin. Res.* 51: 155-163.
- Harfoot, C. G. y Hazlewood, G. P. 1997. Lipid metabolism in the rumen. In: *The rumen microbiology ecosystem*. PN Habson (Ed). London, UK. Elsevier. 382-426.
- Harfoot, C. G. y Hazlewood, G. P. 1988. Lipid metabolism in the rumen. In: *The rumen Microbial Ecosystem*. PN. Habson (ed), Elsevier Appl. Sci. Publ. Co, Inc. New York, NY. 282-32.
- Hilalí, M., El-Mayda, E., Rischkowsky, B. 2011. Characteristics and utilization of sheep and goat milk in the Middle East. *Small Rumin. Res.* 101:92-101.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2014. [En línea]. Disponible en www.inegi.org.mx. (Revisado el 25 de Octubre de 2014).
- Ip, C., Chin, S. F., Thompson, H. J. 1994. Conjugated linoleic acid a powerful anticarcinogen from animal fat sources. *Cancer.* 74:1050-1054.

- Jandal, J. M. 1996. Comparative aspects of goat and sheep milk. *Small Rumin. Res.* 22: 177-185.
- Jenkins, T. C. 1993. Symposium: advances in ruminant lipid metabolism. Lipid metabolism in the rumen. *J. Dairy. Sci.* 76: 38-51.
- Jenkins, T. C., Wallace, R. J., Moate, P. J., Mosley, E. E. 2008. Board-Invited Review: recent advances in biohydrogenation of unsaturated fatty acid within the rumen microbial ecosystem. *J. Anim. Sci.* 86:397-412.
- Jimeno, V., Rebolla, G., Castro, T. 2003: Nutrición y Alimentación del caprino de leche en sistemas intensivo de explotación. En: XIX Curso de Especialización FEDNA. pp. 155-178.
- Kazunori, K., y Teruyoshi, Y. 2013. Health benefits of conjugated linoleic acid (CLA). *Obesity Res. and Clin. Prac.* 8(6): 525-532.
- Kelly, M. L., Kolver, E. S., Bauman, D. E., Van Amburgh, M. E., Muller, L. D. 1998. Effect of intake of pasture on concentrations of conjugated linoleic acid in milk lactating cows. *J. Dairy Sci.* 81: 1630-1636.
- Kelsey, J. A., Corl, B. A., Collier, R. J., Bauman, D. E. 2003. The effect of breed, party, and stage of lactation of conjugated linoleic acid (CLA) in milk fat from dairy cows. *J. Dairy Sc.* 86: 2588-2597.
- Kepler, C. R., Hirans, K. P., McNeill, J. J., Tove, S. B. 1966. Intermediates and products of the biohydrogenation of linoleic acid by *Butyrivibrio fivrisolvens*. *J. Biol. Chem.* 241: 1350-1354.
- Khanal, R. C. y Olson, K. C. 2004. Factors affecting conjugated linoleic acid (CLA) content in milk. Meat and eggs: A review. *Pakistan J. Nutr.* 3(2): 82-98.
- Kim, Y. J., Liv, R. H., Rychlik, J. L., Russell, J. B. 2002. The enrichment of a ruminal bacterium (*Megaaphaera elsdenii* YJ-4) that produces the trans10, cis12 isomer of conjugated linoleic acid. *J. Appl. Microbiol.* 92: 976-982.
- Klieve, A. V., Hennessy, D., Ouwerkerk, D., Forster, R. J., Mackie, R. I., Attwood, G. T. 2003. Establishing populations of *Megaaphaera elsdenii* YE 34 and *Butyrivibrio fivrisolvens* YE 44 in the rumen of cattle fed high grain diets. *J. Appl. Microbiol.* 95: 621-230.
- Knudsen, J. y Grunnet, I. 1982. Transacylation as a chain-termination mechanism in fatty acid synthesis by mammalian fatty and synthetase. *J Biochem.* 202: 139-143.
- Kondyli, E., Svarnas, C., Samelis, J., Katsiari, M. C. 2012. Chemical composition and microbial quality of ewe and goat milk of native Greek breeds. *Small Rumin. Res.* 103:194-199.
- Kouakou, B., Lee, J. H., Kannan, G. 2009. Effects of high soybean oil for goats in late lactation on intake, milk composition and fatty acid profile. *Trop and Subtrop. Agro.* 11: 233-236.

- Larsson, S. C., Bergkvist, L., Woolk, A. 2005. High-fat dairy food and conjugated linoleic acid intakes in relation to colorectal cancer incidence in the Swedish Mammography Cohort. *Am. J. Clin. Nutr.* 82: 894-900.
- Latham, M. J., Storry, J. E., Sharpe, M. E. 1972. Effect of low-roughage diets on the microflora and lipid metabolism in the rumen. *Appl. Microbiol.* 24: 871-877.
- Laurenço, M., Ramos-Morales, E., Wallace, R. J. 2010. The role microbes in rumen lipolysis and biohydrogenation and their manipulation. *Animal.* 4: 1008-1023.
- Lock, A. L. y Bauman, D. E. 2004. Modifying milk fat composition of dairy cows to enhance fatty acids beneficial to human health. *Lipids.* 39: 1197-1206.
- Lock, A. L., Parodi, P. W., Bauman, D. E. 2005. The biology of trans fatty acids: implications for human health and dietary industry. *Aust. J. Dairy Tech.* 60: 134-142.
- Lor, J. J., Herbein, J. H. 2003. Dietary canola or soybean oil with two levels of conjugated linoleic acid (CLA) alter profiles of 18:1 and 18:2 isomers in blood plasma and milk fat from dairy cows. *Anim. Feed Sci Technol.* 103: 63-83.
- Maia, G. R. M., Chaudhary, C. L., Bestwick, S. C., Richardson, J. A., McKain, N., Larson, R. T., Graham, A. I., Wallace, J. R. 2010. Toxicity of unsaturated fatty acids to the biohydrogenating ruminal bacterium, *Butyrivivrio fibrisolvens*. *Microbiology.* 10: 52-60.
- Martínez, M. A. L., Hernández, P. M., Pérez, A. L. M., Carrión, P. D., Gómez, C. G., Garzan, S. A. I. 2013. Efecto de los aceites y semillas en dietas para rumiantes sobre el perfil de ácidos grasos de la leche. Revisión. *Rev. Mex. Cienc. Pec.* 4(3): 319-338.
- Martínez, M. M. A. L., Pérez, H. M., Pérez, A. L., Gómez, C. G. 2010. Digestión de los lípidos en los rumiantes: Una revisión. *Interciencia.* 35(4): 240-246.
- Mastewet, A. T., Girma, A., Anday, T., Devold, G. T., Narvhus, A. J., Vegarud, E. G. 2012. Milk production, composition and variation at different lactation stages of four goats breed in Ethiopia. *Small Rumin. Res.* 105: 176-181.
- Matsushita, M., Tazinafo, N. M., Padre, R. G., Oliveira, C. C., Souza, N. E., Visentainer, J. V., Macedo, F. A. F., Ribas, N. P. 2007. Fatty acid profile of milk from Saanen goats fed a diet enriched with their vegetable oils. *Small Rumin. Res.* 72: 127-132.
- McDonald, P., Edwards, A. R., Greenhalgh, D. F. J., Morgan, A. C. 1995. *Nutrición Animal*. Acribia S. A. Ed. Quinta. España. p. 27-42.
- McGuire, M. A. y McGuire, M. K. 2000. Conjugated linoleic acid (CLA): A ruminant fatty acid with beneficial effects on human health. *J. Anim. Sci.* 77: 1-8.
- McKain, N., Shingfield, K. J., Wallace, R. J., 2010. Metabolism of conjugated linoleic acids and C18:1 fatty acids by ruminal bacteria: products and mechanisms. *Microbiology.* 156: 579-588.
- Mele, M., Serra, A., Buccioni, A., Conte, G., Pollicardo, A., Secchiari, P. 2008. Effect of soybean oil supplementation of milk fatty acid composition from Saanen goats fed diets with different forage:concentrate rations. *Ital. J. Anim. Sci.* 7: 297-311.

- Menke, K. H. y Steingass, H. 1988. Estimation of the energetic feed value from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Anim. Res. Dev.* 28: 7-55.
- Mills, S. C., Scott, T. W., Russell, G. R., Smith, R. 1970. Hydrogenation of C18 unsaturated acids by pure cultures of a rumen micrococcus. *Aust. J. Biol. Sci.* 23: 1109-113.
- Milner, J. A. 1999. Funcional foods and health promotion. *J. Nutr. Soc.* 50: 77-85.
- Mir, Z., Rushfeldt, M. L., Mir, P. S., Peterson, L. J., Weselake, R. J. 2000. Effect of dietary supplementation with either conjugated linoleic acid (CLA) or linoleic acid rich oil on the CLA content of lamb tissues. *Small Rum. Res.* 36: 25-31.
- Morand-Fehr, P., Fedele, V., Decandia, M., Le Frileux, Y. 2007. Influence of farming and feeding systems on composition and quality of goat and sheep milk. *Small Rum. Res.* 68: 20-34.
- NRC. National Research Council. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th rev. The National Academy Press, Washington, DC. USA. 381 pp.
- NRC. National Research Council. 2007. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids and new world camelids. The National Academic of science. Washington, D.C. USA. 292 pp.
- Noble, R. C., Moore, J. H., Harfoot, C. G. 1974. Observations of the pattern of biohydrogenation of esterified and unesterified linoleic acid in the rumen. *Br. F. Nutr.* 31:99-108.
- Palmquist, D. L. 1991. Influence of source and amount of dietary fat on digestibility in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 74: 1354-1360.
- Palmquist, D. L. y Griinari, J. M. 2006. Milk fatty acid composition in response to reciprocal combinations of sunflower and fish oil in the diet. *Ani. Feed Sci and Technol.* 131: 358-369.
- Palmquist, D. L. y Jenkins, T. C. 2003. Challenges with fats and fatty acid methods. *J. Anim. Sci.* 81: 3250-3254.
- Palmquist, D. L. y Jenkins, T. C. 1980. Fat in lactation rations: Review. *Dairy Sci.* 63:1-14.
- Palmquist D. L., Lock A. L., Shingfield K. J., Bauman D. E. 2005. Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants and humans. En: *Adv. Food Nutr. Res.* Taylor SL (Ed). Elsevier Academic Press, San Diego, CA. Vol. 50: 179-217.
- Pariza, M. W. 1997. Conjugated linoleic acid, a newly recognized nutrient. *Chemestry Ind. (Lond)* 12: 464-466.
- Pariza, M. W. 1999. The biological activities of conjugated linoleic acid. In: *Avances in conjugated linoleic acid.* Yuraweez MP. Mossoba MM. Kremer JKG. Nelson GJ (Eds). AOCS Press. Champaign, IL. Vol. 1:12-20.
- Pariza, M. W., Park, Y., Cook, E. M. 2000. Mechanisms of conjugated linoleic acid: evidence and speculation. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 223:8-13.

- Pariza, M. W., Park, Y., Cook, M.E. 2001. Mechanism of conjugated linoleic acid. *Progress in Lip. Res.* 40: 269-281
- Park, Y. 2009. Conjugated linoleic acid (CLA): Good or bad *trans* fat?. *J. Food Comp. and Anal.* 22:6-12.
- Park, Y., Albright, K. J., Liu, W., Storkson, J. M., Cook, M. E., Pariza, M. W. 1997. Effect of conjugated linoleic acid on body composition in mice. *Lipids.* 32:853-858.
- Park Y., Juárez G., Ramos M., Haenlein F. W. 2007: Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Rumin. Res.*, 68: 88-113.
- Park, Y., y Pariza, W. M., 2007. Mechanisms of body fat modulation by conjugated linolenic acid (CLA). *Food Res. International.* 40:311-323.
- Parodi, P. W. 1999. Conjugated linoleic acid and other anticarcinogenic agents of bovine milk fat. *J. Dairy. Sci.* 82 (6): 1339-1349.
- Peterson, D. G., Kelsey, J. A., Bauman, D. E. 2002. Analysis of variation in cis9, trans11 conjugated linoleic acid (CLA) in milk fat of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85: 2164-2172.
- Peterson, D. G., Matitashvili, E. A., Bauman, D. E. 2003. Diet-induced milk fat depression in dairy cows results in increased trans 10 cis 12 CLA in milk fat and coordinate suppression of mRNA abundance for mammary enzymes involved in milk fat synthesis. *J. Nutr.* 133:3098-3102.
- Piperova, L. S., Teter, B. B., Bruckental, I., Sampugna, J., Mills, E. S., Yurawecz, P. M., Fritche, J., Ku, K., Erman, A. R. 2000. Mammary lipogenic enzyme activity, *trans* fatty acids and conjugated linoleic acid are altered in lactating dairy cows fed a milk fat-depressing diet. *J. Nutr.* 130: 2568-2574.
- Piperova, L. S., Sampugna, J., Teter, B. B., Kalcheur, K., Yurawecz, P. M., Ku, K., Morehouse, K., Erman, A. R. 2002. Duodenal and milk trans octadecanoic acid and conjugated linoleic acid (CLA) isomers indicate that absorptive synthesis is the predominant source of cis-9 containing CLA in lactating dairy cows. *J. Nutr.* 132: 1235-1241.
- Sanz, C. L., Ramos, M. E., De la Torre, A. G., Diaz, C. G., Perez, M. L., Sanz, S. M. R. 2009. Composition of goat and cow milk produced under similar condition and analyzed by identical methodology. *J. of Food Comp. and An.*
- Sanz-Sampelayo, M. R., Chilliard, Y., Schmidely, Ph., Boza, J. 2007. Influence of type diet on the fat constituents of goat and sheep milk. *Small. Rumin. Res.* 68: 42-63.
- SAS. 1999. SAS/ STATTM User's Guide. Statistical analysis system institute Inc. Cary, North Caroline, USA
- Schroeder, G. F., Coudere, J. J., Bargo, F., Rearte, D. H. 2005. Milk production and fatty acid profile of milk fat by dairy cows fed a winter oats (*avena sativa L.*) pasture-only or a total mixed rations. *N. Z. J. Agric. Res.* 48: 187-195.

- Sehat, N., Kramer, J. K. G., Mossoba, M. M., Yurawecz, M. P., Roach, J. A. G., Eulitz, K., Morehouse, K. M., Ku, Y. 1998. Identification of conjugated linoleic acid isomers in cheese by gas chromatographic, silver ion high performance liquid chromatographic and mass spectral reconstructed ion profiles. *Lipids*. 33:963-971.
- Shi, H., Luo, J., Zhang, W., Sheng, H. 2015. Using safflower supplementation to improve the fatty acid profile in milk of dairy goat. *Small Rumin. Res.* **127**: 68-73.
- Shingfield, K., Reynolds, C., Lupoli, B., Toivonen, V., Yurawecz, M., Delmante, P., Griinari, J., Grandison, A., Beever, D. 2005. Effect of forage type and proportion of concentrate in the diet on milk fatty acid composition in cows given sunflower oil and fish oil. 80: 225-238.
- SIAP. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2013. Dirección de Ganadería. [En línea]. Disponible en www.siap.gob.mx. (Revisado el 26 de Octubre de 2014).
- Steel, R. G. D., Torrie, J. H., Dickey, D. A. 1997. Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. 3rd ed. McGraw-Hill Series in Probability and Statistics. USA. 622 pp.
- Sukhija, P. S. y Palmquist, D. L. 1988. Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuffs and feces. *J. Agr. Food Chem.* 36: 1202-1206.
- Toral, G. P., Rouel, J., Bernard L., Chilliard, Y. 2014. Interaction between fish oil plant oils or starchy concentrates in the diet: Effects on dairy performance and milk fatty acid composition in goats. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 198: 67-82.
- Tsiplakou, E., Mountzouris, K. C., Zervas, G. 2006. Concentration of conjugated linoleic acid in grazing sheep and goat milk fat. *Livest. Sci.* 103: 74-84.
- Tsiplakou, E. y Zervas, G. 2013. The effect of fish and soybean oil inclusion in goat diet on their milk and plasma fatty acid profile. *Livest. Sci.* 155: 236-243.
- Ulbricht, T. L. V. y Southgate, D. A. T. 1991. Coronary heart disease: seven dietary factors. *Lancet*. 338: 985-992.
- Valsta, L. M., Tapanainen, H., Männistö, S. 2005. Meats fats in nutrition: a review. *Meat Sci.* 70: 525-530.
- Van Nevel, J. C. y Demeyer, I. D. 1996. Influence of pH on lipolysis and biohydrogenation of soybean oil by rumen contents *in vitro*. *Reprod. Nutr. Dev.* 36: 53-63.
- Van Soest, P. J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. Chapter 20 in lipids, Cornell University. Press, Ithaca, N. Y.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., Lewis, B. A. 1991. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition, *J. Dairy Sc.* 74:3583-3597.
- Vilmar, K. G. 2011. Bioquímica dos ruminantes. 3ª ed., aufsm, Brasil. 212pp

- Wallace, R. J., Chaudhary, L. C., McKain, N., McEwan, N. R., Richardson, A. J., Vercoe, P. E., Walker, N. D., Paillard, D. 2006. *Clostridium proteoclasticum*: a ruminal bacterium that forms stearic acid from linoleic acid. FEMS. Microbiol. Lett. 265: 195-201.
- Wattiaux, M. 2005. Guía Técnica Lechera. Instituto Babcock para la investigación y desarrollo internacional de la industria lechera. 9-20, 77-80.
- Whigham, L. D., Cook, M. E., Atkinson, R. L. 2000. Conjugated linoleic acid: Implications for human health. Pharmacological Res. 42: 503-510.
- Wijesundera, C., Shen, Z., Wales, W. J., Dalley, D. E. 2003. Effect of cereal grain and fibres supplements on the fatty acid composition of milk fat of grazing dairy cows in early lactation. J. Dairy Res. 70: 257-265.
- Williams, M. C. 2000. Dietary fatty acids and human health. Anim. Zootech. 49: 165-180.
- Wu, Z. y Palmquist, D. L. 1991. Synthesis and biohydrogenation of fatty acids by ruminal microorganisms *in vitro*. J. Dairy Sci. 74: 3025-3034.
- Yang, S. L., Bu, D. P., Wang, J. Q., Hu, Z. Y., Li, D., Wei, H. Y., Zhou, L. Y., Loo, J. J. 2009. Soybean oil and linseed oil supplementation affect profiles ruminal microorganisms in dairy cows. Animal. 3(11): 1562-1569.
- Yañez-Ruiz, D. R., Scollan, N. D., Merry, R. J., Newbold, C. J. 2006. Contribution of rumen protozoa to duodenal flow of nitrogen, conjugated linoleic acid and vaccenic acid in steers fed silages different in their water-soluble carbohydrate content. J. Br. Nutr. 96: 861-869.
- Zapata, J. R., Gutierrez, B. L. A., Echeverry, P. D. 2012. Role of rumen ciliated protozoa in the synthesis of conjugated linoleic acid. A review. J. Colomb. Sci. Pec. 25: 135-249.
- Zened, A., Enjalbert, F., Nicot, C. M., Troegeler-Meynadier, A. 2011. *In vitro* study factor affecting the biohydrogenation shift from *trans-11* to *trans 10* acids in the rumen of dairy cows. Animal. 6(3): 459-467.
- Zervas, G. y Tsiplakou, E. 2011. The effect of feeding systems on the characteristics of products from small ruminants. Small Rum. Res. 101: 140-149.

XI. ANEXOS



**DESEMPEÑO PRODUCTIVO DE CABRAS ADICIONANDO ACEITE DE
SOYA EN LA DIETA EN SISTEMA INTENSIVO
PRODUCTIVE PERFORMANCE OF GOATS ADDING SOYBEAN OIL IN
THE DIET IN AN INTENSIVE SYSTEM**

Mejía ULA*, Félix SA, Robles JG, Vieyra AR, Domínguez VIA, González RM, Morales AE.
Departamento de Nutrición Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad
Autónoma del Estado de México, maemesto@hotmail.com, emoralesa@uaemex.mx, Tel. 01722
2965542

Cartel.

Resumen

La necesidad de implementar estrategias de alimentación para incrementar la calidad de la leche de los rumiantes continúa siendo relevante. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la adición de aceite de soya en la dieta de cabras sobre la respuesta productiva y composición química de la leche. Se utilizaron diez cabras de la raza Saanen en su primer tercio de lactación, divididas en dos grupos homogéneos según peso vivo y producción láctea. La dieta ofertada a los animales fue una dieta totalmente mezclada. Los tratamientos fueron: a) CONTROL, concentrado sin la adición de aceite de soya; b) SOYA 6, adición de 6% de aceite sobre la materia seca. Se realizaron dos ordeños (08:30h y 15:00h). Cada semana se registró la producción y muestreo de leche individual al momento del ordeño. No hubo efecto ($P>0.05$) sobre el consumo de materia seca (2.44 ± 0.2 kg/d); la producción láctea (2140.9 vs 1950.7 g/d), y el contenido de proteína (30.4 vs 30.12 g/kg) en leche fueron mayores ($P<0.05$) en el tratamiento control. El contenido de grasa no fue afectado por los tratamientos (39.4 ± 2.9 g/kg). La adición de 6% de aceite de soya en la dieta de cabras afectó la producción de leche, y el contenido de proteína en lactosa pero sin cambios en el contenido de grasa en leche.

Introducción

De todas las leches producidas por los animales domésticos, la de la cabra posee uno de los mejores valores bromatológicos (Jandal, 1996), dicha composición es variable existiendo diversidad según la raza (Arbiza y De Lucas, 2001) pero sobre todo la mayor influencia en la composición química es la fuente de alimentación (Sanz et al., 2007). Al respecto se han realizado estudios, fundamentalmente para aumentar la producción y calidad de la leche de cabra, considerando a la alimentación como principal factor que modifica el contenido de grasa en la leche; al respecto Chilliard, et al. (2013) mencionan que para mejorar la calidad de leche se deben de considerar dos aspectos importantes en la composición de la dieta del animal que podrían determinar el contenido de la grasa, siendo la cantidad y naturaleza de la fibra y la cantidad y naturaleza de la fuente de grasa.

Material y Métodos

Se utilizaron 10 cabras raza Saanen, con un peso promedio de 48 kg de peso vivo en producción (primer tercio de lactación), divididas en dos grupos homogéneos, considerando el peso y la producción láctea, alojadas. La dieta integral ofertada a los animales fue una dieta totalmente mezclada (TMR) por sus siglas en inglés, en la estabulación se tuvo como base forrajera ensilado de maíz y se formuló para cubrir las necesidades de cabras lecheras de acuerdo con los requerimientos del NRC (2007), las dietas integrales se formularon para ser isoproteicas e isoenergéticas. En el Cuadro 1 se muestran los ingredientes de las dietas y su composición química. Los

tratamientos fueron: **Control o testigo**. Concentrado sin la adición de aceite de soya en la dieta y **SOYA 6**. Adición de 6.0 % sobre la materia seca (sms) de aceite de soya en la dieta.

Los animales tuvieron una adaptación de 15 días. Finalizada la adaptación, durante toda la fase de medición los animales permanecieron en corrales individuales de 1.5 x 1.5 m, provistos de bebedero y comedero individual. Los animales fueron pesados al inicio, cada 8 días y al final del experimento. En la dieta del tratamiento con aceite de soya, el aceite se adicionó al concentrado en el momento de su elaboración, utilizando una mezcladora horizontal. Para evitar problemas de rancidez del alimento, las dietas que incluyen aceite de soya fueron preparadas diariamente. La alimentación de los animales se realizó en dos momentos durante el día (09:00 h y 16:00 h) proporcionando el alimento en comederos individuales y el agua de bebida todo el tiempo. Diariamente se realizó dos ordeños (08:30h y 15:30h) con ordeñadora mecánica.

El consumo voluntario se registró a lo largo de todo el experimento, el cual se determinó por el registro de la oferta y rechazo de alimento. Individualmente, cada semana se tomaron muestras de leche al momento del ordeño. Se preparó una alícuota (160 ml) proporcional a la producción de leche de cada ordeño, de esta alícuota se analizó el contenido de proteína, grasa y lactosa utilizando un analizador de leche Lactoscan. Para el procesamiento estadístico de los datos se tomaron los promedios semanales.

Los datos se procesaron mediante un diseño completamente aleatorizado para mediciones repetidas utilizando el procedimiento mixed del paquete estadístico SAS (1999), según el siguiente modelo: $Y_{ijk} = \mu + T_i + S_j + E_{ijk}$. Donde: Y_{ijk} es la variable respuesta; μ , la media general; T_i es el efecto del tratamiento (0 o 6% de aceite de soya); S_j es el efecto de la semana de muestreo; E_{ijk} es el error residual.

Cuadro 1. Ingredientes y composición química (%) de las dietas experimentales (base seca, valores calculados).

Ingrediente	Control	SOYA 6
Ensilado de maíz	30.00	29.00
Rastrojo de maíz	4.47	15.00
Maíz grano (molido)	42.00	22.19
Pasta de soya	4.00	5.00
Canola	17.53	20.81
Aceite de soya	0.00	6.00
Premezcla de Vit-Min	2.00	2.00
Composición química		
Materia seca	59.18	60.18
Proteína total	14.00	14.00
Energía Metabolizable, Mcal/kg	2.76	2.77

Resultados

Cabe hacer mención, que en la semana 6 del experimento una de las cabras del grupo control fue desechada por problemas de salud.

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de la respuesta productiva y composición de la leche de cabras Saanen adicionando aceite de soya en la dieta.

Cuadro 2. Consumo de alimento, producción y composición de la leche de cabras Saanen.

Variable	Tratamientos		EEM	Significancia
	Control	Aceite Soya		
Consumo MS, kg/d	2.46	2.42	0.066	0.6381
Producción leche, g/d	2140.9	1950.7	9.441	0.0002
Composición química				
Grasa, g/kg	38.42	40.41	0.854	0.1136
Proteína, g/kg	30.40	30.12	0.316	0.0428
Lactosa, g/kg	45.32	44.87	0.439	0.0227
Rendimiento				
Grasa, g/d	82.38	76.99	2.282	0.1094
Proteína, g/d	65.25	58.10	0.915	0.0001
Lactosa, g/d	97.23	86.55	1.376	0.0001

No se observó efecto ($P>0.05$) sobre el consumo de materia seca (2.44 ± 0.23 kg/d) de cabras al incluir en la dieta el 6.0% de aceite de soya. La producción de leche resultó casi 10% mayor ($P<0.05$) en el grupo control.

Respecto a la composición química de la leche, el contenido de proteína y lactosa fueron significativamente mayores ($P<0.05$) en el tratamiento control, no obstante que los valores apenas fueron ligeramente bajos en el tratamiento con aceite de soya. El contenido de grasa (39.41 ± 2.96 g/kg) fue inafectado ($P>0.05$) por los tratamientos. Idéntico comportamiento fue observado en el rendimiento de componentes de la leche, al observarse mayor ($P<0.05$) rendimiento de proteína y lactosa, sin afectar el de grasa ($P>0.05$).

Discusión

En general, el consumo de materia seca es normalmente afectado cuando altos niveles de grasa o fuentes de sabores fuerte, tales como el aceite de pescado, sin usados. En nuestro caso, esto no fue observado. Bouattour et al. (2008) no observaron cambios en el consumo de materia seca de cabras consumiendo un concentrado con 6% de aceite de soya (1kg/animal/d), no obstante que el contenido final de aceite de soya en la dieta fue de 2.5% base seca.

Contrario al rendimiento de leche observado en el ganado lechero, donde los rendimientos son normalmente incrementados cuando las vacas son suplementados con grasa a la mitad o aún en lactación avanzada (DePeters y Cant, 1992; Chilliard et al., 2001). Bouattour et al. (2008) no observaron cambios en el rendimiento de leche en cabras suplementadas con aceite de soya. Sin embargo, a diferencia de nuestros resultados, estos autores observaron efecto sobre el contenido de grasa en leche más no sobre el de proteína.

Conclusión

La adición de 6% de aceite de soya en la dieta de cabras afectó la producción de leche y mostró bajo contenido de proteína y lactosa en leche. Pese a no verse afectado el contenido de grasa total de la leche, este sí podría diferir en su perfil lipídico.

Referencias

- Bouattour, M. A., R. Casals, E. Albanell, X. Such, and G. Caja. 2008. Feeding Soybean Oil to Dairy Goats Increases Conjugated Linoleic Acid in Milk. *J. Dairy Sci.* 91:2399–2407.
- Chilliard Y., Ferlay A., Rouel J., Lamberet G. 2003. A Review of nutritional and physiological factors affecting goat milk lipid synthesis and lipolysis. *J. Dairy. Sci.* 86: 1751-1770.
- Chilliard, Y., A. Ferlay, and M. Doreau. 2001. Review: Effect of different types of forages, animal fat or marine oils in cow's diet on milk fat secretion and composition, especially conjugated linoleic acid (CLA) and polyunsaturated fatty acids. *Livest. Prod. Sci.* 70:31–48.
- Arbiza, A. I. S., De Lucas, T. J. 2001. La leche caprina y su producción. Editores Mexicanos Unidos S. A. Ed. 1ra. 43-69. México.
- DePeters, E. J., and J. P. Cant. 1992. Nutritional factors influencing the nitrogen composition of bovine milk: A review. *J. Dairy Sci.* 75:2043–2070.
- Jandal, J. M. 1996. Comparative aspects of goat and sheep milk. *Small Rumin. Res.* 22: 177-185.
- NRC. 2007. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids and new world camelids. The National Academic of science. Washington, D.C. USA.
- Sanz, S. M. R., Chilliard, Y., Schmidely, Ph., Boza, J. 2007. Influence of type diet on the fat constituents of goat and sheep milk. *Small. Rumin. Res.* 68: 42-63.
- SAS. 1999. SAS/ STATTM User's Guide. Statistical analysis system institute Inc. Cary, North Caroline, USA